

# Ancrer et établir l'écosystème Africain de l'Internet : Les leçons apprises au cours du développement des points d'échanges Internet du Kenya et du Nigéria

Juin 2020

Par Michael Kende

# Table des matières

3	Synthèse
6	Contexte : Une vision pour l'Afrique
8	Introduction : Comment atteindre l'objectif
14	Modèles de réussite : le Kenya et le Nigéria, Aujourd'hui
19	Des résultats à l'épreuve du temps
21	Les facteurs du changement : Des mesures reproductibles vers des résultats quantifiables
28	Les lacunes du marché
30	Recommandations
34	Conclusions
35	Annexe A : KIXP – Point d'échange Internet du Kenya
36	Annexe B : IXPN – Point d'échange Internet du Nigéria
37	Annexe C : Remerciements
38	Annexe D : Glossaire des termes
39	Annexe E : Liste des figures et des tableaux

# Synthèse

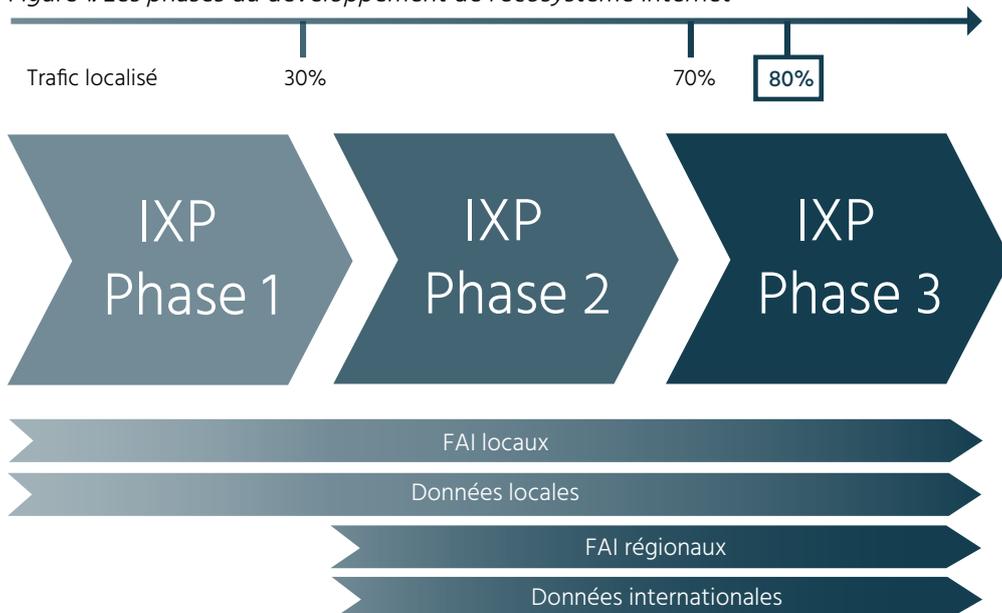
En 2010, l'équipe de Internet Society en Afrique a défini un objectif ambitieux : Rendre 80 % du trafic Internet en Afrique accessible localement à l'horizon 2020.

Les points d'échange Internet (IXP) jouent un rôle clé pour atteindre cet objectif, car ils permettent l'échange de trafic et l'accès aux données à un niveau local. Afin de documenter ce travail, l'Internet Society a, en 2012, commandé une étude visant à identifier et quantifier les avantages significatifs de deux des principaux IXP africains de l'époque : KIXP au Kenya et IXPN au Nigéria. L'Internet Society a le plaisir de publier cette mise à jour de l'étude d'origine. Dans celle-ci, nous identifions les progrès significatifs accomplis par ces deux pays depuis 2012, et nous formulons des recommandations précises pour tous les pays intéressés par le renforcement de leur écosystème Internet, et de leurs communautés Internet.

Depuis 2012, le développement rapide de l'écosystème Internet, à la fois au Kenya et au Nigéria, souligne le rôle crucial joué par les IXP et les infrastructures qui s'y rattachent dans la création d'écosystèmes Internet robustes et durables.

Ce développement apporte une importante valeur ajoutée au quotidien, et l'actuelle crise du COVID-19 illustre parfaitement l'un de ces bénéfices : la hausse soudaine du trafic, due à une augmentation sans précédent du recours à Internet depuis le début de la distanciation sociale et des confinements, a ainsi pu être absorbée sans difficulté.

Figure 1. Les phases du développement de l'écosystème Internet





© Nyani Quarmyne

En 2012, environ 30 % du trafic du Kenya et du Nigéria était localisé. L'Internet Society désigne cette période comme la Phase 1 du développement de l'écosystème Internet, à la veille du passage à la Phase 2 (Figure 1). Ces pays disposaient tous deux d'une base solide pour le développement, notamment d'un IXP existant qui était bien géré, et dans lequel les parties prenantes locales avaient confiance. Ces deux pays disposaient de données statiques internationales grâce au Google Global Cache (GGC), mais pas d'autres données disponible localement. Cependant, ils bénéficiaient tous deux de la base de confiance et de collaboration nécessaire, ainsi que des infrastructures Internet adéquates pour se transformer en point d'échange régional (ou hub).

Aujourd'hui, ces deux pays ont atteint la Phase 2 du développement, avec près de 70 % du trafic localisé, et ils sont positionnés pour passer dans la Phase 3. Pour en arriver à ce point, il a fallu suivre un cheminement systématique de développement des relations entre les parties prenantes et des infrastructures. Les IXP se sont étendus à plusieurs sites et dans plusieurs villes, avec au moins un point de présence dans un centre de données neutre, tout en continuant d'assurer leur rôle de développement et le renforcement de la confiance et la collaboration entre leurs membres de ces IXP.

Chaque IXP a également abandonné les contraintes relatives aux politiques de Peering obligatoires pour encourager l'adhésion de nouveaux membres et aussi de conclure des accords de Peering sélectifs. Par conséquent, tous les principaux fournisseurs de contenu internationaux ont mis en place au moins un nœud de distribution de périphérie dans le pays, mais aussi beaucoup d'autres ont également ajouté un point de présence (PoP). Les gouvernements respectifs ont eux aussi joué un rôle important, en développant les secteurs liés à Internet et en adoptant des politiques de protection des données, renforçant ainsi l'environnement de confiance, et en saluant l'arrivée de nouveaux hébergements de contenus locaux.

La croissance des IXP dans chaque pays a été exponentielle, de même que les réductions des coûts grâce à l'échange de trafic local plutôt qu'à l'utilisation de liens de transit international coûteux. Au Kenya, KIXP est passé d'un trafic de pointe de 1 Gigabit par seconde (Gbps) en 2012 à 19 Gt / s en 2020, avec des réductions de coûts quadruplant à six millions \$US par an. Au Nigéria, l'IXPN est passé du transport de seulement 300 mégabits par seconde (Mbps) à un trafic de pointe de 125 Gbps en 2020, et les réductions de coûts ont augmenté de 40 fois pour atteindre 40 millions \$US par an.

## Perspective de l'avenir

Pour passer à la Phase 3 du développement et atteindre l'objectif du programme d'ITE, qui veut que 80 % du trafic local en Afrique soit accessible localement, plusieurs actions recommandées seront nécessaires, et profiteront à la fois aux parties prenantes individuellement mais aussi à l'écosystème dans son ensemble.

- Il faut faire mieux connaître à des parties très diverses les avantages de l'hébergement de contenus locaux et de Peering en local au travers d'un IXP. Cet objectif peut être atteint grâce à des actions ciblées de renforcement des capacités et d'échanges d'informations organisées par, ou avec la participation des IXP.
- En particulier, les développeurs de contenus locaux qui hébergent actuellement leurs données à l'étranger devraient les héberger dans le pays afin de bénéficier d'une réduction de la latence, et ainsi augmenter le trafic local.
- De plus, les petits fournisseurs d'accès à Internet (FAI) devraient se connecter à leurs IXP locaux afin d'effectuer le Peering plus largement avec les autres membres, et donc d'améliorer l'efficacité de leurs interconnexions.
- L'agrégation de la demande pour la capacité de réseau « backbone » et l'hébergement local de contenus peuvent respectivement contribuer à la réduction des coûts pour les petits FAI et les développeurs de contenus locaux, ce qui peut les aider à se connecter à leurs IXP locaux.
- L'infrastructure « backbone » nationale doit également s'étendre au-delà de la principale station d'atterrissage des câbles sous-marins et des principaux centres urbains, et toucher des centres de population moins importants, afin de réduire les coûts relatifs à l'échange de trafic local et à l'accès aux données et contenus locaux.
- Enfin, un environnement de confiance et de collaboration est crucial pour parvenir au développement de l'infrastructure technologique. Toutes les parties prenantes doivent communiquer et collaborer en tant qu'égaux, en travaillant de concert pour atteindre les objectifs et les résultats définis ensemble.

L'Internet Society présente cet historique des progrès accomplis au Kenya et au Nigéria, ainsi que les actions recommandées (page 30), pour que cela puisse servir d'exemples pour le développement et le renforcement de l'écosystème Internet dans d'autres pays d'Afrique. Tous ensemble, à l'heure où les pays localisent de plus en plus leurs données, l'objectif de 80/20 défini par l'Internet Society et la Communauté Africaine de l'Internet, sera atteint.

# Contexte : une vision pour l'Afrique

En 2010, l'équipe de l'Internet Society en Afrique a lancé « Interconnection and Traffic Exchange Program » (ITE)<sup>1</sup>, qui avait pour objectif « 80/20 pour 2020 », qui signifiait que 80 % du trafic Internet en Afrique devrait être accessible localement à l'horizon 2020.

Les IXP jouent un rôle crucial pour atteindre cet objectif, à la fois en localisant l'échange de trafic entre les FAI d'un marché donné et en contribuant à attirer des fournisseurs de contenus pour offrir une distribution plus efficace des données. Il est rapidement apparu, cependant, que la seule présence d'IXP ne suffirait pas à atteindre l'objectif de localiser 80 % du trafic Internet en Afrique. Pour atteindre un objectif si ambitieux, il fallait que les pays disposent d'environnements propices et développent la collaboration et la confiance de leurs organisations agissant dans le secteur de l'Internet et des personnes qui y travaillent. Ce type de confiance peut être renforcé par la mobilisation de la communauté, le renforcement des capacités et la formation.

En 2012, afin d'inciter davantage au développement et au renforcement des IXP dans toute l'Afrique et de soutenir une meilleure documentation de l'impact positif des IXP, l'Internet Society a commandé une étude pour identifier les bénéfices apportés par deux des principaux IXP d'Afrique : le Kenya Internet Exchange Point (KIXP) et l'Internet Exchange Point of Nigeria (IXPN)<sup>2</sup>. Cette étude novatrice était la première à quantifier les bénéfices économiques d'un IXP. Et, même si les bénéfices étaient déjà significatifs à cette époque, ils étaient limités par la très faible quantité de contenus hébergés localement en Afrique subsaharienne. Le Kenya et le Nigéria disposaient tous deux d'un « Google Global Cache » pour les contenus statiques internationales,



© Nyani Quarmyne

telles que les vidéos YouTube, mais les autres contenus, notamment celles développées localement, étaient toujours hébergées hors du continent africain.

Afin de résoudre les problèmes relatifs à l'hébergement local des contenus, l'Internet Society a réalisé, après l'étude sur le Kenya et le Nigéria, deux rapports sur le Rwanda : une évaluation des avantages économiques à l'hébergement local des contenus et une étude de cas sur les effets du retour des sites Internet rwandais et de leur hébergement « à domicile » au Rwanda.<sup>3,4</sup> Ces rapports ont tous deux souligné un problème récurrent dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne : les développeurs locaux faisaient des économies en hébergeant les données et les services en Europe ou aux États-Unis, ce qui engendrait des coûts significativement plus élevés pour les FAI lorsqu'ils « importaient » ces données vers le Rwanda. Les deux rapports comprenaient des recommandations très fermes en faveur du développement de l'hébergement local des contenus.

1. Brochure du programme Interconnection and Traffic Exchange (ITE), <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/interconnection-and-traffic-exchange-ite-program-brochure/>

2. Michael Kende et Charles Hurpy, « Évaluation de l'impact des points d'échange Internet – étude empirique portant sur le Kenya et le Nigéria, » Rapport pour l'Internet Society, avril 2012, <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/Assessment-of-the-impact-of-Internet-Exchange-Points---empirical-study-of-Kenya-and-Nigeria.pdf>

3. Michael Kende et Karen Rose, « Promotion de l'hébergement de contenu local pour développer l'écosystème Internet » (Internet Society, janvier 2015), <https://www.afpif.org/wp-content/uploads/2017/10/Promoting-Local-Content-Hosting-to-Develop-the-Internet-Ecosystem.pdf>

4. Michael Kende et Bastiaan Quast, « The Benefits of Local Content Hosting: A Case Study » (Internet Society, mai 2017), [https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC\\_LocalContentRwanda\\_report\\_20170505.pdf](https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC_LocalContentRwanda_report_20170505.pdf)



© The Internet Society

Huit années se sont écoulées depuis la première étude sur les IXP, et les écosystèmes Internet du Kenya et du Nigéria se sont considérablement développés.

Ces deux pays ont connu une augmentation de leur nombre d'utilisateurs d'Internet et du volume d'utilisation d'Internet, une augmentation des capacités d'Internet aux niveaux national et international, une présence locale des plus grands réseaux de distribution de contenus et fournisseurs de contenus au monde, et un développement du nombre d'IXP.

La valeur de ces IXP, ainsi que celle des écosystèmes d'accès et de contenus auxquels ils ont donné naissance, a été démontrée au travers de la crise actuelle du COVID-19. La dépendance accrue à Internet pour remplacer les interactions physiques pendant le confinement et la distanciation sociale a engendré une augmentation de l'utilisation des IXP et entraîné d'importants pics de trafic, qui auraient pu être difficilement gérés sans la capacité locale et la résilience inhérentes des IXP.

L'Internet Society a le plaisir de publier cette mise à jour de l'étude de 2012. Elle contient des descriptions des nombreux changements survenus dans ces deux pays, les mesures prises

par les parties impliquées pour promouvoir ces changements et des recommandations visant à la poursuite du développement de l'écosystème Internet dans ces deux pays.

Nous partageons ces informations dans les buts suivants :

- Inspirer les parties prenantes des autres pays à contribuer au renforcement de leurs IXP et des écosystèmes qui s'y rattachent,
- S'assurer que les récentes, et plus efficaces meilleurs pratiques sont partagées au travers de tout le secteur d'Internet,
- Faire savoir que certains pays, notamment le Kenya et le Nigéria, ont conscience des progrès qu'ils ont accomplis vers l'objectif conjoint 80/10 de l'Internet Society et de la Communauté Africaine de l'Internet à l'horizon 2020.

Enfin, nous espérons sincèrement que les résultats positifs soulignés dans cette étude serviront à établir une discussion au sein de la communauté pour une nouvelle vision au-delà de 2020.

# Introduction : Comment atteindre l'objectif ?

**Les points d'échange Internet sont des points de rencontre à travers lesquels les réseaux échangent le trafic Internet. En permettant au trafic local de rester local, ils réduisent fortement les coûts et la latence dans les échanges de trafic et l'accès aux données.**

En résumé, leur utilisation permet à Internet d'être moins cher, plus rapide et de meilleure qualité. Depuis longtemps, l'Internet Society soutient et fait une promotion activement du développement et l'amélioration continue des IXP, qu'elle considère comme des éléments cruciaux de l'infrastructure Internet d'un pays et des outils qui ont fait leurs preuves pour le renforcement des capacités techniques.

Les IXP peuvent jouer un rôle central dans l'évolution de l'écosystème Internet d'un pays, et cela a clairement été le cas au Kenya comme au Nigéria.

Les bénéfices généraux des IXP, selon l'étude de 2012 de l'Internet Society, découlent tous d'un aspect fondamental : sans IXP, les FAI doivent utiliser leurs liens de transit international pour permettre la circulation du trafic Internet international, des données hébergées à l'étranger et du trafic local. Cet onéreux processus, par lequel le trafic local circule vers un point d'interconnexion en dehors du pays avant d'y revenir, est communément appelé l'effet trombone (d'après la forme de l'instrument de musique).<sup>5</sup>

Les IXP permettent au trafic local d'être échangé localement plutôt que par un effet trombone. Cela entraîne trois bénéfices sur le plan économique, résumés dans l'étude de 2012 (Tableau 1).<sup>6</sup> Grâce à l'échange du trafic au niveau local, les FAI ont fait des économies significatifs, récurrents et conséquents sur les frais liés au transit IP international, la latence a été considérablement réduite, et cette réduction

Tableau 1. Résumé des résultats de l'étude de 2012 (Source : Analysys Mason, Internet Society, 2012)

	Kenya	Nigéria
Pic de trafic par IXP	1 Gbps	300 Mbps
Réseaux d'appairage	25	35
<b>Bénéfices</b>		
1. Économies annuelles	1 440 000 \$US	1 080 000 \$US
2. Réduction de la latence	De 200-600ms à 2-10 ms	De 200-400ms à 2-10 ms
3. Accroissement des revenus	6 000 000 \$US	Faible du fait des niveaux de trafic

5. Pour une analyse des modèles du trafic, notamment de l'effet trombone, et de leur impact sur la latence, voir Josiah Chavula et Amreesh Phokeer, « Revealing latency clusters in Africa, » article sur le blog de l'African Network Information Centre (AFRINIC), 31 juillet 2019, <https://afrinic.net/revealing-latency-clusters-in-africa>

6. Michael Kende et Charles Hurpy, « Évaluation de l'impact des points d'échange Internet – étude empirique portant sur le Kenya et le Nigéria, » rapport pour l'Internet Society, avril 2012, <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/Assessment-of-the-impact-of-Internet-Exchange-Points---empirical-study-of-Kenya-and-Nigeria.pdf>



© The Internet Society / Nyani Quarmyne / Panos Pictures

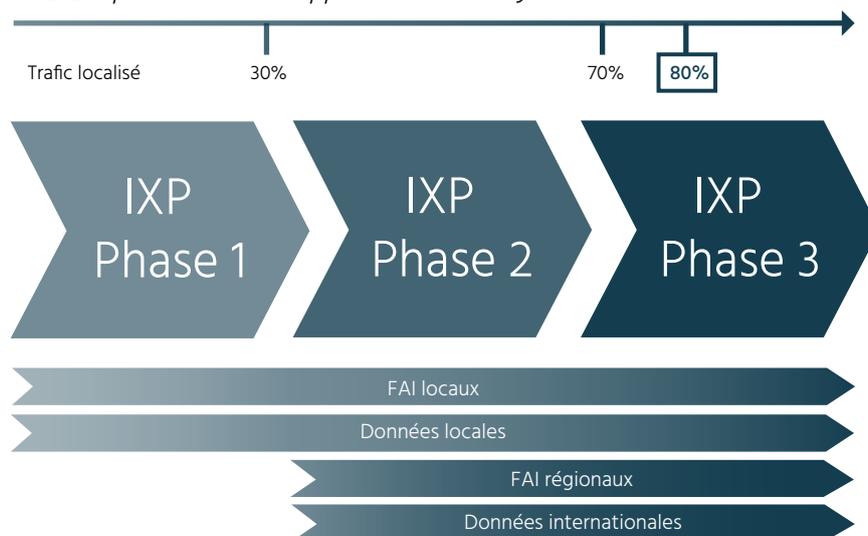
de la latence a entraîné une augmentation de la consommation de contenus, et donc par conséquent à un accroissement des revenus pour les FAI qui vendent des offres de connexions aux utilisateurs.

La croissance des IXP dans chaque pays a été exponentielle depuis 2012, tout comme les réductions des coûts liées à l'échange de trafic local. Au Kenya, KIXP est passé à 19 Gbps en 2020, avec des économies de coûts ayant quadruplé pour atteindre six (6) millions de dollars US par an. Au Nigéria, l'IXPN a crut pour atteindre un pic de trafic de 125 Gbps en 2020, et des économies de coûts ont été multipliées par 40 pour atteindre quarante (40) millions de dollars par an. Nous allons maintenant détailler l'importance de cette croissance et les leçons à en tirer.

## Les trois phases du développement de l'écosystème Internet

Le rôle d'un IXP a plusieurs dimensions. Un IXP peut permettre d'échanger du trafic entre les fournisseurs d'accès, et entre fournisseurs de contenus et fournisseurs d'accès. Il peut permettre l'échange de trafic local et l'accès aux données locales, et peut profiter aux abonnés locaux à Internet (les utilisateurs finaux) et aux organisations. En se développant, un IXP devient un hub d'échange et d'accès au trafic transfrontalier au sein de sa sous-région, ainsi qu'au trafic et aux contenus internationaux. À partir des expériences observées au Kenya, au Nigéria et dans d'autres pays, l'Internet Society a identifié trois phases dans l'évolution d'un écosystème Internet (Figure 2).

Figure 2. Les phases du développement de l'écosystème Internet



**Phase 1. L'IXP sert principalement à l'échange du trafic local entre les fournisseurs d'accès locaux.** Il apporte notamment les bénéfices suivants : réduction des coûts pour les fournisseurs d'accès, réduction de la latence dans l'échange de trafic du fait de l'absence d'effet trombone, et meilleure résilience du réseau, qui n'est plus dépendant des connexions internationales pour l'échange de trafic local. De plus, les utilisateurs finaux bénéficient de la réduction de la latence et de l'amélioration de la résilience, et peuvent bénéficier des économies obtenues par les FAI. La phase 1 localise approximativement 30 % ou moins du trafic local, car elle n'implique pas un volume de contenus significatif.

**Phase 2. Les données internationales sont rendues disponibles au niveau local, attirées par l'IXP et les réseaux qui le constituent.** Les bénéfices viennent renforcer ceux obtenus lors de la Phase 1, notamment une réduction encore plus importante des coûts et de la latence pour l'accès aux données, ainsi qu'une meilleure résilience. La réduction de la latence dans l'accès aux données entraîne une augmentation de l'utilisation desdites contenus, ce qui augmente également les revenus des FAI qui vendent les offres de connexions. De plus, la baisse des coûts pour accéder aux données a de fortes chances d'être transmise aux utilisateurs finaux. Et les FAI de la région commencent à se connecter à l'IXP pour accéder à des données transfrontalières,

régionales et internationales. La Phase 2 localise approximativement 30 % à 70 % du trafic total.

**Phase 3. Les données locales sont hébergées localement, plutôt que dans des centres de données situés à l'étranger.** Cela vient renforcer les bénéfices de l'hébergement local de données internationales, et aide à promouvoir l'économie du numérique, en ouvrant de nouvelles portes aux développeurs de contenus locaux et aux entreprises qui les hébergent.<sup>7</sup> Les utilisateurs finaux profitent de contenus locaux plus pertinentes. La phase 3 localise 70 % ou plus du trafic total.

Veillez noter que les pourcentages susmentionnés sont approximatifs, et varient en fonction des pays et des types de données. Par exemple, les données internationales seront probablement plus adaptées aux pays anglophones qu'à d'autres pays.

Comme indiqué ci-dessous, dans le rapport de 2012, le Kenya et le Nigéria avaient atteint la Phase 1 et étaient en passe d'atteindre la Phase 2, avec très peu de données localisées. Aujourd'hui, ces deux pays ont atteint la Phase 2 et sont sur le point d'atteindre la Phase 3, avec presque toutes les données internationales importantes hébergées localement. Afin de vraiment parvenir à la Phase 3, les données locales doivent également être développées et hébergées localement.

7. Pour plus d'informations sur la création d'une économie locale du numérique, voir Michael Kende, « Promoting the African Internet Economy » (Internet Society, 22 novembre 2017), [https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/11/AfricanInternetEconomy\\_111517.pdf](https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/11/AfricanInternetEconomy_111517.pdf)

## Les bases économiques de l'hébergement et la distribution de contenus

Pour bien comprendre le développement de l'écosystème Internet, il est important de comprendre l'évolution constante des aspects économiques des contenus. Au cours des dix à quinze dernières années, deux changements majeurs sont survenus dans le flux du trafic Internet. Le premier changement a été une augmentation significative de la disponibilité des contenus et des services, la plus importante source de contenus en volume de trafic étant la vidéo, qui nécessite une quantité conséquente de bande passante pour arriver jusqu'à l'utilisateur final. Le second changement a été la vraie mondialisation d'Internet. De nos jours, Internet est confronté au défi de la distribution de quantité massive de contenus de manière efficace dans le monde entier.

Pour répondre à ce défi, des réseaux de distribution de contenu (Content Delivery Networks – CDN en anglais) ont émergés, pour aider à diffuser les contenus plus près possible des utilisateurs finaux. Les premiers CDN, comme Akamai, étaient des entreprises indépendantes qui diffusaient les contenus pour le compte de leurs clients. Plus récemment, des fournisseurs de contenus, tels que Google, Facebook et Netflix, ont mis en place leurs propres CDN pour distribuer leurs contenus.

Pour comprendre les flux de trafic des contenus, il est important de faire la distinction entre les contenus statiques et dynamiques. Les contenus statiques ne changent pas avec le temps, et peuvent donc être conservés dans des emplacements multiples, hors des sites où elles ont été générées. Les vidéos sont un type important de données statiques, notamment les vidéos générées par les utilisateurs et les vidéos à caractère commercial, comme les émissions de télévision et les films. Les données dynamiques changent de manière continue au fil des demandes de l'utilisateur, et ne peuvent donc pas être conservées. Les communications directes entre utilisateurs finaux, comme les messages sur les médias sociaux, les jeux en ligne et les appels en visioconférence sont des exemples de contenus dynamiques.

Les CDN mettent en place des caches afin de conserver les contenus statiques populaires dans

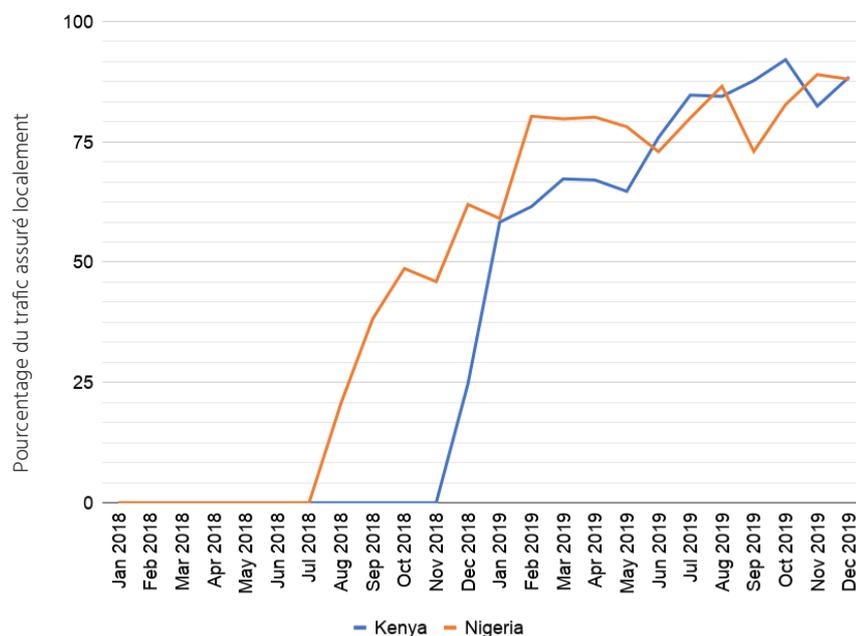


© Nyani Quarmyne

des emplacements multiples. Ces caches sont souvent appelés caches de périphérie, car ils sont en périphérie du réseau du CDN, aussi proche que possible de l'utilisateur final. Des contenus peuvent être envoyés vers ou tirés d'un cache de périphérie. Un CDN peut envoyer des contenus populaires dans les caches de périphérie pour tirer parti des moments où le trafic est faible. Par exemple, Netflix peut envoyer son catalogue vidéo dans un cache de périphérie pendant la nuit. Ou bien, un utilisateur final peut tirer des contenus d'un cache de périphérie. Par exemple, si un utilisateur d'un pays spécifique télécharge une vidéo, la vidéo est conservée sur un cache de périphérie durant sa transmission à l'utilisateur final. La prochaine fois qu'un autre utilisateur désirera regarder cette vidéo, il la recevra depuis le cache de périphérie, et non depuis l'endroit initial à l'étranger.

Que les données soient ajoutées au ou tirées du cache de périphérie, le fait qu'elles soient disponibles au niveau local permet aux FAI d'éviter de devoir utiliser le lien de transit international pour importer de façon répétée les mêmes données pour les demandes futures. Un cache de périphérie peut être hébergé par un IXP, auquel cas le coût de la capacité du lien de transit international pour le remplissage du cache est partagé entre les FAI qui utilisent l'IXP. Avec l'augmentation du trafic, chaque FAI peut disposer de son propre cache de périphérie, pour lequel il paie le lien de transit international pour son remplissage. Dans ces deux cas, les FAI en tirent d'importants bénéfices et économies financières.

Figure 3. Pourcentage du trafic assuré localement, janvier 2018 - octobre 2019  
(Source : Large CDN, 2020)



Un fournisseur de données peut également développer son réseau dans un pays en déployant un PoP (Point de Présence) dans le pays, pour la distribution des contenus dynamiques et des services, et pour le remplissage des caches de périphérie de contenus statiques. Dans ce cas, le fournisseur de contenus se connectera aux FAI au niveau du PoP, directement ou par le biais de l'IXP. Cela permet à la fois d'améliorer la distribution de contenus aux utilisateurs finaux et d'offrir aux utilisateurs finaux un accès direct aux services des fournisseurs de contenus. Le fournisseur de contenus organise ses propres moyens de distribution des contenus, soit en les achetant à d'autres fournisseurs, soit en développant ses propres moyens au fur et à mesure. Ce modèle permet aux FAI locaux de faire d'importantes économies, tout en améliorant la qualité de la distribution des contenus et des services.

La Figure 3 illustre les avantages du déploiement d'un PoP au Kenya et au Nigéria. Dans ces deux pays, le pourcentage du trafic servi localement est passé de zéro à 80 % en à peine plus de six mois. Il faut noter que cette augmentation n'est pas uniquement due au remplacement du trafic international par le trafic

local. Au cours de l'année qui a suivi le déploiement du PoP, le trafic mensuel s'est accru de près de 140% au Nigéria et de près de 160% au Kenya, notamment grâce à l'importante réduction de la latence par l'accès à des données disponibles localement.

**Les fournisseurs de contenus et leurs CDN profitent d'importantes économies d'échelle dont disposent les grands fournisseurs internationaux, qui créent ou accèdent à des centres de données massifs pour la conservation et le traitement des données, qui créent ou accèdent à des infrastructures sous-marines pour distribuer les contenus, et qui rendent ensuite ces contenus disponibles grâce à des caches de périphérie ou des PoP. À l'heure actuelle, les fournisseurs de contenus, centres de données et fournisseurs d'hébergement locaux ne sont pas à un niveau comparable aux fournisseurs de données européens ou américains. Pour cette raison, la majorité des contenus locaux ne peuvent être hébergés localement de façon rentable, ce qui limite le développement à la fois des fournisseurs de contenus locaux et de l'écosystème local. Il s'agit d'un obstacle important au développement complet de l'écosystème Internet.**

Tableau 2. L'écosystème Internet au Kenya, 2012-2020 (Sources : ITU, TeleGeography, KIXP et sites Internet de CDN)

		2012	2020
<b>Internet</b>	Utilisateurs d'Internet : Abonnés HD fixe : Abonnés HD mobile : 500 Mb prépayés (plafond) : Vitesse moyenne de téléchargement :	8,8 % 0,13 % 0,42 % 5,92 \$US	117,8 % (2017) 0,72 % (2018) 41,92 % 2,42 \$US (2017) Fixe : 18,17 Mbps Mobile : 21,65 Mbps
<b>IXP</b>	<b>Nœuds KIXP (2000)</b> Nombre de réseaux de Peering : Trafic de pointe :  <b>Asteroid IXP (2020)</b> Nombre de membres : Trafic de pointe :	Nairobi, Mombasa  25 1 Gbps	Nairobi, Mombasa (2)  56 19 Gbps  Mombasa 10 Env. 350 Mbps
<b>Infrastructure</b>	Câbles sous-marins   BP int. par utilisateur (bit/s) : Prix moyen du transit IP Mbps (GigE, CDR = 1000) :	SEACOM (2009) TEAMS (2009) EASSY (2010) LION1 (2012)  13,932 262,50 \$US	SEACOM TEAMS EASSY LION2 DARE1 (2020) Peace Cable (2021) 2Africa (2023)  386,743 (2017) 25,53 \$US
<b>Centres de données</b>	Neutres vis-à-vis de l'opérateur	Internet Solutions	Cloudpap East Africa Data Center Gestalt Gild Kisumu Mombasa 1 Safaricom
<b>Réseaux de diffusion des données</b>	International	Google Global Cache	Akamai Amazon Web Services Cloudflare Facebook Google Caches Google Edge PoP Microsoft Netflix

# Modèles de réussite : le Kenya et le Nigéria aujourd'hui

Depuis 2012, ces deux pays ont connu un développement en profondeur de tous les aspects de leur écosystème Internet, notamment leurs IXP, leur accès à Internet et leurs infrastructures d'hébergements de contenus et données. Voici des descriptions plus détaillées de leurs évolutions.

## Kenya

Au cours des huit dernières années, le pourcentage d'abonnés au réseau mobile à haut débit au Kenya a été multiplié par 100, et atteint désormais 42% de la population, tandis que le prix des offres data a baissé de 50% (Tableau 2).

La bande passante internationale pour Internet par utilisateur a été multipliée par 25, son prix a baissé de 90% et, à l'heure où nous rédigeons cette étude, deux nouveaux câbles sous-marins vers Mombasa sont en cours de construction.<sup>8</sup>

Le nombre de centres de données neutres vis-à-vis des opérateurs dans le pays est passé de un à

six, avec notamment l'arrivée d'Africa Data Centres (ADC) à Nairobi et de iColo à Mombasa et Nairobi, et la présence locale de Google a été suivie par la création de PoP et de caches de périphérie par tous les principaux CDN. Cela a permis le développement de KIXP, qui est passé de 25 à 56 réseaux qui font du Peering, et le trafic échangé au sein de l'IXP est passé de un gigabit par seconde (1 Gbps) en 2012 à près de 20 Gbps<sup>9</sup> en 2020 en temps de pic. Malgré son accroissement très conséquent, le niveau de trafic mesuré ne représente qu'une partie du trafic réel échangé. Une part importante du trafic est échangée au sein d'interconnexions de réseaux privés (PNI) à ADC Nairobi, qui héberge ces échanges, et à Mombasa, où certains CDN sont hébergés en colocation.

KIXP a ajouté un nœud à Mombasa, et le nœud d'origine a été transféré à ADC Nairobi. KIXP Mombasa dispose désormais de sites d'IXP indépendants à iColo MBA-1 et Telephone House, et KIXP Nairobi est devenu un IXP distribué avec un site principal de Peering à ADC Nairobi et un site secondaire de Peering dans l'installation de Chancery Building d'Internet Solutions (Tableau 3). Conformément aux

Tableau 3. Statistiques sur les centres de données, les membres et le trafic de KIXP, 2020  
(Source : site Internet de KIXP)

Ville	Centre de données	Membres	Trafic de pointe
Nairobi	ADC Nairobi	50	19,33 Gbps
	Chancery Building	2	s/o
Mombasa	Telephone House	4	s/o
	iColo	5	383,5 Mbps

8. Le PEACE Cable, de l'entreprise PEACE Cable, qui connectera à partir de 2021 l'Afrique de l'Est à l'Europe et à l'Asie, et 2Africa, par un consortium comprenant Facebook, qui connectera l'Europe à la majorité de l'Afrique à partir de 2023.

9. Les données de KIXP sont antérieures à la crise du COVID-19, durant laquelle les niveaux de pointe du trafic ont atteint 25 Gbps, avec au moins un pic excédant 50 Gbps.



© The Internet Society / Nyani Quarmyne / Panos Pictures

bonnes pratiques, les plateformes des IXP de Nairobi et de Mombasa ne sont pas interconnectés, et les réseaux de chaque ville organisent leur propre transport pour le Peering avec l'IXP de l'autre ville.

L'un des facteurs du développement soutenu de KIXP est que l'Accord de Peering multilatéral obligatoire (MMLPA) en vigueur en 2012 a été abandonné. Cela rend l'IXP plus intéressant pour un nombre plus variés de membre, car les membres ne sont plus obligés d'effectuer le Peering avec tous les autres membres, et peuvent désormais sélectionner leurs partenaires pour le Peering.

Plusieurs PoP de CDN ont été connectés, directement ou indirectement, aux IXP de Mombasa et Nairobi, ce qui a offert aux FAI un accès facile aux contenus. Parmi les membres actuels de l'échange, on compte Amazon, Facebook, Google et Microsoft. Les membres ne fonctionnant pas tous comme des opérateurs locaux, qui vendraient leurs services directement aux utilisateurs finaux, ils peuvent installer des équipements sans une licence.

Selon l'African Route-collectors Data Analyzer (ARDA),<sup>10</sup> les FAI kenyans et les réseaux régionaux et internationaux sont tous accessibles depuis l'IXP ou le centre de données qui les hébergent. Dans certains cas, les réseaux régionaux et les FAI sont connectés indirectement par des opérateurs régionaux, tels

que Liquid Telecom, qui dispose d'une infrastructure réseau dans tous les pays de la Communauté de l'Afrique de l'Est, en Égypte et en Afrique du Sud. Cet opérateur prévoit de s'étendre au Nigéria. Il existe d'autres opérateurs internationaux, tels que China Telecom, Hurricane Electric, PCCW et Swisscom. Au sein de la région, KIXP et ses centres de données pour l'hébergement sont attrayants en tant que hub, car ils disposent de plusieurs câbles sous-marins qui arrivent à Mombasa, ainsi que d'un accès aux CDN et aux autres contenus et services internationaux (Pour plus d'informations sur KIXP, voir l'Annexe A).

Un autre IXP, Asteroid, a reçu une licence pour opérer au Kenya en 2020. Il dispose d'un nœud dans le centre de données d'iColo à Mombasa, où KIXP dispose également d'un nœud.<sup>11</sup> Asteroid est considérablement moins cher que KIXP (un port à 1 Gbps coûte 120 \$/mois chez Asteroid contre 450 \$/mois chez KIXP) et il propose un produit bien développé, établi sur une plateforme logicielle de Peering intuitive et utilisée par les autres IXP d'Asteroid. Il est notamment envisagé de transformer le nœud d'iColo en un IXP régional qui donnerait accès à de nombreux réseaux en Afrique et hors du continent. Plusieurs acteurs ont déclaré se réjouir de l'arrivée d'un nouvel IXP régional et espérer que KIXP réponde à ce nouveau niveau de concurrence en réduisant ses prix ou en proposant de nouvelles offres.

10. L'African Route-collectors Data Analyzer est une initiative visant à développer la mesure d'Internet en Afrique. Dans l'ensemble, le projet vise à utiliser et à soutenir le déploiement d'infrastructures, d'outils et de services de mesure mondialement reconnus sur des centres d'observation définis, afin d'améliorer la visibilité des flux de paquets et des échanges de trafic sur Internet dans la région africaine. <https://arda.af-ix.net/ARP/index.php>

11. Voir <https://www.asteroidhq.com/ixp-locations/4>

Tableau 4. L'écosystème Internet au Nigéria, 2012-2020 (Sources : ITU, TeleGeography, IXPN et sites Internet de CDN)

		2012	2020
<b>Internet</b>	Utilisateurs d'Internet : Abonnés HD fixe : Abonnés HD mobile : 500 Mb prépayés (plafond) : Vitesse moyenne de téléchargement :	16,10 % 0,01 % 6,79 % 12,75 \$US	42 % 0,04 % 30,68 % 3,27 \$US Fixe : 11,93 Mbps Mobile : 16,04 Mbps
<b>IXP</b>	<b>Nœuds IXPN (2006)</b> Nombre de réseaux de Peering: Trafic de pointe :  <b>Nœuds WAF-IX (2018)</b> Nombre de membres : Pic de trafic :	Lagos  30 300 Mbps	Lagos (4), Abuja, Port Harcourt, Kano 71 125 Gbps  Lagos 15 Env. 11 Gbps
<b>Infrastructure</b>	Câbles sous-marins   BP int. par utilisateur (bit/s) : Prix moyen du transit IP Mbps (GigE, CDR = 1000) :	SAT3 (2002) Glo-1 (2010) Main One (2010)  5 341 450 \$US	SAT3 Glo-1 Main One WACS (May 2012) ACE (December 2012) Glo-2 (2020) Equiano (2021) 2 255 27,45 \$US
<b>Centres de données</b>	Neutres vis-à-vis de l'opérateur		Excelsimo Galaxy Backbone ICN ipNX Layer3 Madallion Comm MDXi data centers (2) Rack Centre
<b>Réseaux de diffusion des données</b>	International	Google Global Cache	Akamai Amazon Web Services Cloudflare Facebook Google Caches Google Edge PoP Limelight Microsoft Netflix

## Nigéria

Comme au Kenya, l'écosystème Internet s'est épanoui au Nigéria au cours des huit dernières années.

**Le pourcentage d'utilisateurs d'Internet au Nigéria a augmenté de 16 % à 42 % de la population, avec une augmentation conséquente du nombre d'abonnés au réseau mobile à haut débit, grâce à une réduction considérable du prix des offres data.**

En ce qui concerne la capacité des câbles sous-marins, deux câbles ont été installés peu de temps après la publication du rapport de 2012, et deux autres devraient être opérationnels prochainement, l'un d'eux appartenant à Google. Le coût moyen pour le transit international s'est considérablement réduit, de 450 \$US à 27,45 \$US. Et, tandis qu'il n'existait en 2012 aucun centre de données neutre vis-à-vis des opérateurs,

ceux-ci sont désormais nombreux, et plusieurs d'entre eux hébergent des nœuds d'IXPN à Lagos (Tableau 4).

Actuellement, IXPN couvre sept nœuds : quatre à Lagos, un à Abuja, un à Port Harcourt et un à Kano. Les nœuds de Lagos sont reliés entre eux ainsi qu'aux nœuds des trois autres villes. Les membres sont répartis entre les nœuds, avec 38 membres dans le plus grand nœud de Lagos et 3 à 18 membres dans chacun des trois nœuds en dehors de cette ville. La connectivité entre les nœuds de Lagos est suffisante, mais les frais relatifs à l'acheminement entre les villes signifient que la connectivité des nœuds en dehors de Lagos est faible. Même si les interconnexions des IXP entre villes diffèrent de ce que préconisent les meilleures pratiques d'un IXP, celles-ci sont acceptées spécifiquement du fait des difficultés relatives à la capacité des liens entre les villes. (Pour plus d'informations sur IXPN, voir l'Annexe B.)

Tableau 5. Statistiques sur les centres de données, le réseau et le trafic d'IXPN, 2020  
(Source : site Internet d'IXPN)

Ville	Données	Réseaux de peering	Trafic de pointe
Lagos	ICNL	2	125 Gbps
	Medallion	38	
	MDXI	11	
	Rack Centre	18	
Abuja	Medaillion	12	590 Mbps
Kano	Kano	3	60 Mbps
Port Harcourt	ICNL	4	0

L'augmentation du trafic au Nigéria a été encore plus importante que celle observée au Kenya, d'un trafic de 300 Mbps en 2012 à 125 Gbps<sup>12</sup> en 2020 pendant le pic du trafic (Figure 4).

Plusieurs facteurs clés ont contribué à l'accroissement rapide du trafic Internet au Nigéria. Tout d'abord, les fournisseurs de contenus sont répartis entre les centres de données d'hébergement à Lagos, une configuration qui soutient intrinsèquement le recours à l'IXP pour connecter les nœuds des centres de données plutôt qu'à des PNI au sein des centres de données. Deuxièmement, il n'est désormais plus obligatoire de disposer d'une licence, octroyée par les autorités Nigériane pour se connecter à l'IXP, ce qui permet au trafic régional d'être échangé au sein de l'IXP. De plus, comme au Kenya, IXPN a abandonné son MMLPA en 2019, et les réseaux qui font du Peering ne sont donc plus contraints de tous s'interconnecter. Cela a permis une utilisation plus flexible de l'IXP, et les nouveaux réseaux ont plus tendance à adhérer lorsqu'ils ont le droit de choisir avec qui ils s'interconnectent.

Désormais, les réseaux qui font du Peering à l'IXPN comptent parmi leurs membres des fournisseurs de contenus tels qu'Akamai, Facebook et Google à Lagos, ainsi que des opérateurs internationaux tels que China Telecom, Glo et MainOne. Rapidement, les expériences positives d'accès aux contenus depuis l'IXPN ont convaincu des fournisseurs de données internationaux d'augmenter leur présence au Nigéria, et ont contribué au développement du niveau de contenus désormais disponible dans le pays.

Enfin, en 2018, le West African Internet Exchange<sup>13</sup> (WAF-IX) s'est ouvert à Lagos, avec pour principal objectif d'aider les fournisseurs de données à diffuser les données dans toute l'Afrique de l'Ouest depuis leurs PoP au Nigéria. Sur l'initiative de Main One et avec le soutien d'Asteroid, le nouvel échange est positionné de manière à y parvenir, en tirant parti des capacités sous-marines de MainOne et en ajoutant de futurs nœuds au Ghana, en Côte d'Ivoire et au Sénégal.

Figure 4. Trafic de pointe d'IXPN en Gbps, janvier 2013-janvier 2020 (Sources : sites Internet d'Euro-IX et d'IXPN)



12. Les données d'IXPN sont antérieures à la crise du COVID-19, au cours de laquelle un pic de trafic de pointe a atteint près de 200 Gbps.

13. Voir <https://wafix.net/>

# Des résultats à l'épreuve du temps

**Les principaux bénéfices des IXP au Kenya et au Nigéria mesurés en 2012, qui étaient la réduction de la latence, les économies financières et l'augmentation des revenus pour les FAI, sont toujours observés aujourd'hui, et ont augmentés, grâce à la demande qui s'est accrue de façon exponentielle.**

## Réduction de la latence

Dans ces deux pays, la latence du trafic échangé reste inférieure à 10 ms, et peut atteindre 2 ms. Cela découle directement de l'arrêt de l'échange de trafic et de l'accès aux contenus depuis l'Europe ou au-delà : il n'est plus nécessaire de parcourir une telle distance de fibre et un nombre important de sauts. Cette plus faible latence s'applique maintenant à toutes les données internationales, désormais disponibles localement dans les deux pays.

## Économies financières

Les économies obtenues grâce à l'IXP au Kenya sont conséquentes. Début 2020, près de 20 Gbps de trafic passait par KIXP, au coût de 0,45\$US/Mbps/Mois (pour un port de 1 Gbps), considérablement moins qu'un lien de transit international, qui coûte plus de 25\$US/Mbps/Mois (pour une capacité de 1 Gbps). Cela a engendré pour les réseaux qui font du Peering une économie de 6 millions de \$US/an. Ces économies sont au moins quatre fois supérieures à celles observées en 2012, malgré un coût désormais bien plus faible pour les capacités internationales.

Ce chiffre est probablement inférieur aux économies réellement effectuées, et ce pour trois raisons. Tout d'abord, une partie non négligeable du trafic est échangée dans les espaces de collocation d'ADC Nairobi et de Mombasa avec des PNI, et ces économies ne sont pas prises en compte, bien qu'elles soient un résultat indirect de KIXP. Ensuite, lorsque des FAI locaux échangent du trafic entre eux au niveau de l'IXP, les économies sont doublées : l'un

des FAI économise, en n'utilisant pas le Transit IP pour l'échange sortant, l'autre FAI économise, en n'utilisant pas le Transit IP pour l'échange entrant.

Enfin, les coûts relatifs à l'utilisation du transit international pour l'échange de trafic ne se mesurent pas simplement en frais économisés par Mbps de transit IP : le FAI peut acheter un excédent de capacité de transit international afin d'obtenir des baisses de tarifs sur le long terme, et il doit, afin d'échanger le trafic au niveau international, payer pour des espaces de collocation et des frais d'interconnexion dans les centres de données étrangers ainsi que pour l'accès à un IXP.

Ces économies sont encore plus importantes au Nigéria. Début 2020, un port chez IXPN coûtait 0,428 \$US/Mbps/Mois (pour un port de 1 Gbps), tandis qu'un lien transit IP international coûtait 27,45 \$US/Mbps/Mois (également pour une capacité de 1 Gbps). L'accès au trafic ou aux contenus depuis l'IXP coûte ainsi environ 27 \$US/Mbps/Mois de moins par mois que l'accès depuis l'étranger, et, étant donné le volume du trafic échangé, cela permet d'économiser plus de 40 millions de \$US/An. Alors même que le coût du transit IP a été fortement réduit depuis 2012, le trafic empruntant l'IXP s'est tellement accru que les économies ont été multipliées par près de 40 depuis 2012.

## Accroissement des revenus

Enfin, l'IXP a de fortes chances d'aider les FAI à augmenter leurs revenus. Comme indiqué ci-dessus, la réduction de la latence entraîne une augmentation de l'utilisation, et donc des revenus des services data. Cependant, il est difficile d'attribuer une augmentation de l'utilisation à une nouvelle source spécifique de contenus localisées, puis de quantifier les bénéfices engendrés. Néanmoins, dans les deux pays, la majorité des contenus internationales sont désormais localisées, et profitent donc directement ou indirectement de l'IXP.



© Peter Okwara

## Atteindre de nouveaux records : L'INEOS 1:59 Challenge

En octobre 2019, l'athlète kényan Eliud Kipchoge est parvenu à passer sous la barrière de deux heures pour un marathon, un exploit que l'on a longtemps cru impossible. Cette course s'appelait l'INEOS 1:59 Challenge, et l'événement, organisé spécialement pour le challenge, s'est déroulé au petit matin à Vienne, en Autriche. Cette course ne faisant pas partie du programme, elle n'a pas été diffusée à la télévision. Des millions de Kényans ont néanmoins pu regarder cet événement révolutionnaire, à la fois en direct et en rediffusion.

YouTube a diffusé l'événement en direct depuis son PoP au Kenya, qui a distribué les données depuis KIXP. Pour célébrer l'événement, Safaricom, le principal opérateur de téléphonie au Kenya, a offert un paquet de données YouTube (1,59 Gb) gratuit à ses plus de 33 millions d'abonnés, ce qui leur a permis de visionner l'événement gratuitement. Ben Roberts, Directeur de l'innovation technologique chez Liquid Telecom, un prestataire panafricain de connectivité à haut débit, de centres de données et de services numériques, a célébré l'événement en indiquant dans un tweet que Liquid Telecom avait diffusé le plus grand volume jamais atteint de trafic YouTube dans le pays.

Grâce à la robustesse et à la maturité de l'écosystème Internet kényan, des millions de Kényans ont pu célébrer l'exploit de leur compatriote et savourer un moment de fierté nationale.

# Les facteurs du changement : Des étapes reproductibles vers des résultats quantifiables

**Plusieurs changements significatifs ont été observés dans chaque pays. Le principal changement a été la transition entre la fin de la Phase 1 de développement en 2012 et la fin de la Phase 2 en 2020.**

Dans l'ensemble, dans les deux pays, la part de trafic localisé a été inversée, passant d'environ 30 % de local et 70 % d'international lors de la première étude à 70 % de local et 30 % d'international en 2020.

Dans cette section, nous partageons les facteurs et les informations (sur les IXP, le secteur d'Internet, le gouvernement et les utilisateurs) qui ont permis à l'écosystème Internet de chacun de ces pays d'atteindre son niveau actuel.

## Le rôle du point d'échange Internet

L'un des éléments constants communs aux deux pays est la gouvernance des IXP. Les deux ont les mêmes présidents-directeurs généraux (PDG) qu'en 2012 : Fiona Asonga pour KIXP et Muhammed Rudman pour IXPN. Les PDG sont tous deux supervisés par un conseil des membres, et ont mis en place des équipes très efficaces, qui les aident dans le fonctionnement et le développement de leur IXP. Plusieurs parties prenantes au Nigéria ont commenté de façon positive la direction stable et forte d'IXPN. L'importance d'une gestion et d'une gouvernance efficaces ne doit pas être sous-estimée : elle est primordiale pour inciter les réseaux à rejoindre l'IXP, car il est nécessaire d'inspirer confiance dans la capacité de l'IXP à effectuer l'échange de trafic.

Chaque IXP a pris plusieurs mesures proactives et reproductibles afin de développer le nombre de ses membres et d'augmenter le volume de trafic.

### 1. Les deux IXP ont supprimé leur MMLPA

En supprimant son MMLPA, chaque IXP a permis aux opérateurs de sélectionner avec qui ils souhaitaient faire du Peering.

Sous le régime MMLPA, un opérateur important ne peut pas à la fois vendre du transit et faire le Peering avec le même FAI plus petit. Le fait de devoir choisir entre la vente de transit et un Peering obligatoire avec un client peut inciter les grands FAI à ne pas rejoindre un IXP. De même, le plus grand FAI d'un pays peut être susceptible de ne pas rejoindre un IXP doté d'un MMLPA afin d'éviter de devoir faire le peering avec les FAI plus petits du pays, même s'il ne leur vendait pas de transit. Après avoir retiré cette contrainte de Peering et mis en place des modèles de Peering choisis par les peers, les deux IXP ont connu une augmentation du nombre de leurs membres.

### 2. Chaque IXP gère son développement à travers plusieurs dimensions

Chaque IXP a établi des emplacements sur plusieurs sites dans la même ville, et des IXP sur de nouveaux marchés locaux. Ceci comprend, et c'est peut-être le plus important, une installation dans au moins un centre de données neutre vis-à-vis des opérateurs.

Les centres de données peuvent héberger une infrastructure de peering de l'IXP, à travers laquelle les peers peuvent facilement se connecter aux FAI, aux CDN avec un cache de périphérie et aux fournisseurs de contenus avec un PoP. Veuillez noter que lorsqu'un FAI et un fournisseur de contenus sont situés dans le même centre de données, si leur trafic dépasse 1 Gbps pour un FAI unique, ils peuvent passer à une PNI, afin de se connecter directement plutôt que par l'intermédiaire de l'IXP.

Au Kenya, les PNI sont fréquemment utilisées à ADC Nairobi, où le nœud de KIXP est hébergé. Il s'agit du principal nœud à Nairobi, et tous les FAI, ainsi que la plupart des fournisseurs de contenus, sont en conséquence présents à ADC Nairobi. Même si cela réduit le volume de trafic passant par l'IXP, cela ne diminue pas sa valeur. Au contraire, KIXP a un rôle d'aimant, qui contribue à attirer les acteurs à ADC Nairobi. Toute forme d'interconnexion locale est importante, notamment les interconnexions privées. KIXP joue toujours un rôle. Par exemple, les petits réseaux ne peuvent pas s'offrir de PNI multiples, et d'autres réseaux continueront à se connecter à l'IXP car ils en apprécient la résilience.

**Conseil : Les IXP devraient prendre en compte le fait qu'un des effets potentiels de la création d'un IXP multi-site sur plusieurs centres de données est une augmentation du trafic au sein de l'IXP, car les fournisseurs utiliseront moins les PNI et davantage l'IXP multi-site. Cette augmentation du trafic peut engendrer une hausse des frais de fonctionnement, et devrait être prise en compte dans le plan.**

L'utilisation de PNI est moins répandue au Nigéria, principalement du fait que les trois nœuds les plus importants d'IXPN sont répartis sur trois centres de données de Lagos, et que les principaux fournisseurs de contenus sont également répartis sur ces trois centres de données. De ce fait, les FAI peuvent utiliser l'IXP pour se connecter aux fournisseurs de données des autres centres de données. Au moins un FAI important utilise une PNI pour se connecter à l'un des principaux fournisseurs de contenus, basé dans le même centre de données, mais il se connecte également à ce fournisseur de contenus par IXP pour sa résilience et afin de répartir la charge entre les connexions.

IXPN sert également à accéder à d'autres CDN, notamment pour les petits FAI, qui sont attirés par la réduction des coûts entraînée par l'utilisation d'une connexion à IXP à la place de PNI multiples pour se

connecter aux fournisseurs de contenus. Les PNI sont sujets à des frais d'interconnexion mensuels dans les centres de données, une dépense de fonctionnement supplémentaire susceptible de décourager les petits opérateurs. Pour offrir les avantages d'une PNI sans les coûts qui s'y rattachent, IXP prévoit de mettre en place une technologie permettant l'utilisation de réseaux locaux virtuels (VLAN), afin de pouvoir activer efficacement des PNI virtuelles à travers l'IXP.

### 3. Les deux IXP disposent de nœuds dans d'autres villes

En plus d'être présents dans les principales villes du Kenya et du Nigéria, les deux IXP disposent de nœuds dans d'autres villes plus petites. Du fait des différences géographiques, cela a un impact différent dans les deux pays. Au Kenya, les câbles sous-marins arrivent à Mombasa, à 486 km de Nairobi, la capitale politique et économique du pays. Au Nigéria, les câbles sous-marins arrivent à Lagos, la capitale économique et la plus grande ville du pays, à 699 km d'Abuja, la capitale politique. Dans ces deux pays, les réseaux reliant les villes sont onéreuses, et les défis que représente l'acheminement du trafic de la côte aux villes de l'arrière-pays restent importants.

Au Kenya, KIXP dispose de nœuds dans l'un des points d'arrivée des câbles à Mombasa et dans un centre de contenus à Mombasa, où de nombreux fournisseurs de données ont établi des PoP. KIXP ne dispose pas d'installations entre KIXP Nairobi et KIXP Mombasa, ni entre les deux nœuds de l'IXP de Mombasa. Cela correspond aux bonnes pratiques internationales, qui visent à éviter qu'un IXP soit en concurrence avec les opérateurs pour une liaison entre deux villes. Afin d'acheminer les données depuis les PoP des fournisseurs de contenus à Mombasa, les FAI de Nairobi ont les possibilités suivantes :

- S'ils disposent de leurs propres infrastructures, ils peuvent les utiliser pour transporter directement les données.
- Ils peuvent acheter l'acheminement entre les PoP et Mombasa.
- Ils peuvent payer un FAI pour acheminer les données vers eux à Nairobi.

Toutes ces options ont un coût significatif, du fait du caractère relativement onéreux du réseau nationale. Cependant, ce coût est en train de baisser, car de nouvelles infrastructures entre les villes sont en cours de construction.

Au Nigéria, IXPN dispose d'infrastructures reliant ses nœuds de Lagos à Abuja. Les frais de connectivité entre Lagos et Abuja sont deux fois plus importants que ceux entre Lagos et Londres pour une même capacité, selon un FAI. Du fait de ce coût considérable, les infrastructures ne sont pas suffisantes pour acheminer la totalité des données, et la qualité de service est donc souvent médiocre ou onéreuse à assurer, parfois les deux. Il en va de même pour les autres centres urbains du Nigéria, notamment Kano et Port Harcourt, où IXPN dispose également de nœuds. Cela limite l'intérêt des nœuds d'IXPN en dehors de Lagos, et signifie que les FAI doivent accéder au trafic à Lagos. Il est également onéreux pour les fournisseurs d'acheminer les données entre les villes elles-mêmes, car il existe un manque significatif de connectivité entre les villes. Pour répondre à ce problème, les CDN pourraient créer des caches de périphérie dans d'autres villes, notamment à Abuja. Cela pourrait soulager la charge qui pèse sur les infrastructures de l'IXP, même s'il resterait nécessaire d'améliorer les infrastructures entre les villes.

Même s'il est fréquent que des IXP relient des IXP multi-sites dans une même ville, comme c'est le cas au Kenya et au Nigéria, il n'est ni habituel, ni conseillé, qu'un IXP mette en place une infrastructure reliant des villes, comme cela a été fait au Nigéria. Cela est considéré comme une offre de services de télécommunication, qui entre en concurrence avec les services de certains des membres de l'IXP. Dans ce cas, cependant, de nombreux acteurs au Nigéria ont admis que le manque général d'infrastructures du pays représentait une difficulté unique, que l'IXP aidait à résoudre. Afin de ne pas nuire aux opérateurs, IXPN a institué une règle selon laquelle les membres ne sont pas autorisés à acheminer leur propre trafic entre deux villes par l'infrastructure d'IXPN.



© The Internet Society / Nyani Quarmyne / Panos Pictures

#### 4. Les deux IXP échangent du trafic régional

En échangeant du trafic régional, les deux IXP peuvent s'appuyer sur l'accès aux données et la disponibilité des infrastructures dans les stations d'arrivée. Dans le cas du Kenya, cela représente un progrès, car cette utilisation pour le trafic régional existait déjà en 2012. Aujourd'hui le pays a accès à un volume bien plus important de données, ainsi qu'à une liaison régionale par fibre avec les pays voisins. Le Nigéria n'avait quant à lui pas de trafic régional, du fait de sa conception en 2012, qui exigeait un permis local pour l'échange de trafic. Cette exigence a été supprimée en 2018, et les FAI régionaux sont désormais en mesure d'accéder au trafic par l'IXP.

## 5. Les deux IXP contribuent à la création d'infrastructures

La création d'infrastructure est un facteur significatif d'amélioration de la connectivité dans tous les pays. Ces deux IXP contribuent à la création d'infrastructures dans le cadre d'une démarche visant à démontrer aux FAI et à d'autres acteurs les avantages de peering dans les échanges, une démarche facilitée par les bénéfices mesurables pour tous les acteurs de l'écosystème. L'Internet Society vient soutenir cette démarche de nombreuses manières, notamment par le biais de publications telles que celle-ci, d'ateliers locaux et régionaux, de son soutien aux regroupements d'opérateurs de réseaux (NOG), de tournées de présentation de peering, et de l'organisation du Forum Africain sur le Peering et l'Interconnexion<sup>14</sup> (AfPIF).

## 6. Des IXP concurrents font leur apparition dans les deux pays

Dans les deux pays, de nouveaux IXP sont en cours de développement, avec l'implication d'Asteroid, un nouveau fournisseur. Au Kenya, Asteroid a reçu un permis d'exploitation d'IXP similaire à celui de KIXP, et offre une connectivité régionale et aux services nationaux à moindre coût. Au Nigéria, l'opérateur MainOne a lancé West African IX (WAF-IX) avec l'aide d'Asteroid. WAF-IX qui vise l'échange de trafic régional en utilisant les câbles sous-marins de MainOne, qui relie le Nigéria à ses voisins en longeant les côtes. Dans ces deux cas, l'émergence d'un nouvel IXP illustre la maturation de l'écosystème global de chacun de ces pays et son rôle de plus en plus important de hub régional pour l'infrastructure en fibre et les contenus.

## Le rôle du secteur d'activité

Le secteur d'activité a joué un rôle significatif dans l'évolution de l'écosystème Internet dans ces deux pays. Cela est tout aussi vrai pour l'infrastructure, pour l'accès à Internet, et pour les contenus.

En ce qui concerne l'infrastructure pour l'accès, de nouveaux câbles sous-marins ont été déployés et d'autres sont en cours de déploiement, tandis que les prix des infrastructures baissent, ce qui a réduit le coût du Transit IP pour remplir les caches de périphérie et a permis aux fournisseurs de données internationaux d'établir des PoP dans ces pays. L'accès à Internet est également davantage disponible et abordable, ce qui augmente la demande pour les services en ligne et engendre des économies d'échelle pour les fournisseurs. Toutes ces évolutions contribuent à un environnement qui soutient les améliorations de l'écosystème Internet.

En ce qui concerne l'infrastructure d'hébergement des contenus, au moins un centre de données neutre vis-à-vis des opérateurs a été construit dans chacun de ces pays. Les centres de données de ce type sont généralement desservis par plusieurs prestataires en fibre, afin d'assurer la concurrence et la redondance dans l'accès au centre de données. Ensuite, ces centres de données ont au moins deux fonctions.

1. Au moins un nœud de chaque IXP est hébergé dans un centre de données neutre vis-à-vis des opérateurs, dans le cadre d'une relation mutuellement bénéfique. Les centres de données en bénéficient clairement, car cela les aide à convaincre les FAI et les fournisseurs de contenus d'y héberger leurs contenus. En conséquence, les centres de données ont tendance à offrir gratuitement de l'espace à l'IXP dans le centre de données, et parfois d'autres services. L'IXP peut profiter de la collocation gratuite ainsi que de la proximité des réseaux de peering.
2. Les fournisseurs de contenus internationaux peuvent profiter de la neutralité du centre de données pour l'accès à la fibre ainsi que pour l'accès aux FAI et à l'IXP.

La décision prise par les fournisseurs de contenus internationaux de placer des caches de périphérie et des PoP dans ces pays a été l'un des moteurs

14. L'African Peering and Interconnection Forum cible les principaux défis et possibilités d'interconnexion, de peering et d'échange de trafic sur le continent, et offre aux participants des informations à l'échelle mondiale et régionale pour optimiser les opportunités qui contribueront à développer l'infrastructure et les services sur Internet en Afrique. Il a fêté ses 10 ans en 2019. <https://www.afpif.org/>

directs de la localisation du trafic. Le rôle des CDN indépendants est de distribuer les contenus de leurs clients au plus près des utilisateurs finaux, et la création de caches de périphérie dans les pays où la demande est suffisante, notamment le Kenya et le Nigéria, fait partie de cette mission.

Récemment, cependant, les plus importants fournisseurs de contenus, notamment Facebook, Google et Netflix, ont commencé à créer leurs propres réseaux pour distribuer leurs propres contenus. Google a été à l'avant-garde, avec le programme Google Global Cache (GGC), qui a été la première présence de contenus internationales, au Kenya comme au Nigéria, il y a huit ans. Plus récemment, d'autres acteurs, notamment Google et Facebook, ont commencé à créer des PoP et à déployer des caches. Afin d'améliorer la distribution des contenus vers les PoP, ces mêmes entreprises commencent à investir dans des câbles sous-marins. Ainsi, le câble Equiano de Google devrait desservir le Nigéria en 2021, et le câble 2Africa, récemment annoncé et né d'un partenariat incluant Facebook, encerclera l'Afrique, en connectant le Kenya, le Nigéria et plusieurs autres pays à l'Europe et au Moyen-Orient.

La création de ces réseaux est clairement positive pour l'écosystème Internet dans son ensemble. Ces réseaux contribuent à réduire la latence dans la diffusion du trafic vers les FAI de ces pays, ainsi que les coûts des FAI. Cela vient alors renforcer l'utilisation des données. De plus, le fait de placer les données à une moindre distance des pays améliore la résilience du réseau, en permettant par exemple que des données soient acheminées à partir des caches locaux si un câble sous-marin est endommagé, même si l'actualisation de ces données risque d'être moins efficace.

Les utilisateurs finaux bénéficient d'un meilleur accès aux contenus, et les économies réalisées par les FAI peuvent leur être transmises sous la forme d'une baisse des prix des offres data, d'une augmentation du volume des offres de data à un prix similaire, ou d'une augmentation du capital disponible pour

l'amélioration de l'accès pour le « dernier kilomètre ». Le Kenya dispose déjà d'une tarification spéciale pour les données de services tels que Facebook, WhatsApp et YouTube : l'utilisation de ces services n'est pas facturée dans l'abonnement de l'utilisateur. Cela est possible grâce à la présence au niveau local, qui permet aux FAI d'accéder aux caches de périphérie ou aux PoP en utilisant directement le peering, sans avoir à recourir à l'onéreux transit IP international.

## Le rôle du gouvernement

La politique et la réglementation gouvernementales ont un impact significatif sur le développement de l'écosystème Internet d'un pays. L'organisme de réglementation peut définir les termes de l'entrée sur le marché des télécommunications et de la concurrence, notamment pour le haut débit fixe et mobile et pour les liaisons terrestres, ce qui aura des conséquences sur les niveaux et les priorités des investissements dans ces marchés. De plus, la politique du gouvernement joue directement sur la volonté des fournisseurs de contenus d'héberger leurs données dans le pays. Enfin, des politiques moins spécifiques ont un effet sur la rentabilité des services.

### Ouverture des marchés

En ce qui concerne les réglementations relatives aux télécommunications, les deux pays ont des marchés ouverts, ce qui autorise l'installation de câbles sous-marins détenus par des propriétaires variés, le déploiement de liaisons terrestres et les services de haut débit mobile. En ce qui concerne KIXP, le Kenya exige une licence, ce qui est assez rare dans les pays d'Afrique, mais cette licence semble entraîner peu de contraintes ou d'effets, et une seconde licence a récemment été accordé à Asteroid. Ces deux pays contribuent à promouvoir l'utilisation de leur IXP au niveau régional, en n'obligeant pas les FAI étrangers à obtenir de licence pour échanger du trafic au niveau de l'IXP, une licence étant uniquement nécessaire pour la vente de services dans l'un des deux pays, comme pour tout autre opérateur.

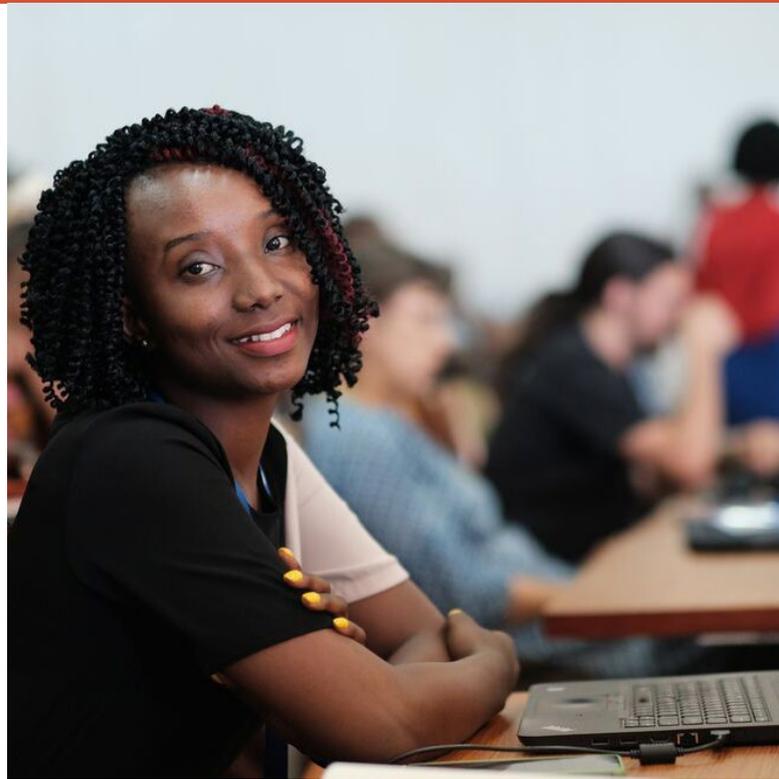
## Protection des données

En ce qui concerne les données, le Kenya a entériné une législation sur la protection des données en novembre 2019, une mesure importante pour instaurer un climat de confiance sur Internet et contribuer à attirer les fournisseurs de contenus.<sup>15</sup> Cette législation est conforme au Règlement général sur la protection des données (RGPD) de l'Union européenne, ce qui permettra que les données personnelles des ressortissants de l'UE soient hébergées et/ou traitées au Kenya, une fois la loi entrée en vigueur. Au Nigéria, la National Information Technology Development Agency (NITDA) a publié le Nigeria Data Protection Regulation (NDPR) en janvier 2019, qui s'applique aux données hébergées ou traitées par des citoyens ou résidents du Nigéria.<sup>16</sup>

## Adoption et utilisation d'Internet

Un gouvernement peut avoir un impact conséquent sur l'adoption et l'utilisation d'Internet, et peut ainsi augmenter l'offre et la demande de trafic passant par un IXP. Il peut par exemple rendre l'accès à Internet plus abordable en supprimant des taxes élevées, afin de réduire le coût des appareils et des services en ligne. Il peut également réduire le coût de déploiement des réseaux et de prestation de services pour les opérateurs, facilitant ainsi l'importation d'équipements et l'accès aux droits de passage. Le Kenya a déjà pris des mesures visant à réduire les coûts, à la fois pour l'accès et pour les appareils.

Les derniers obstacles au passage à la Phase 3 sont communs. Tout d'abord, comme indiqué ci-dessus, les contenus locaux sont souvent hébergés à l'étranger, ce qui empêche la localisation de contenus disponibles. Pour le Nigéria, cela comprend des données d'entreprises et du gouvernement qui, si elles étaient hébergées localement, permettraient d'augmenter les économies d'échelles, et donc de réduire les coûts. De plus, le coût des infrastructures au sein d'une ville et entre les villes reste assez élevé, ce qui induit un désavantage pour les petits FAI situés en dehors des villes où les données sont hébergées. Des mesures visant à renforcer l'adoption



© Nyani Quarmyne

et l'utilisation d'Internet en dehors des plus grandes villes améliorerait les bénéfices et engendrerait davantage d'économies d'échelle.

## Données localisées

Les gouvernements peuvent jouer un rôle important dans la localisation des données. Comme indiqué dans le rapport de 2012, la Kenya Revenue Authority (l'administration fiscale du Kenya) était l'un des premiers participants à KIXP, offrant ainsi à tous les FAI des connexions efficaces avec cette administration, qui a déclaré que cela avait grandement profité aux individus et aux entreprises déclarant leurs impôts. Depuis, le Kenya a mis en place un modèle d'économie numérique qui renforcera sa croissance dans le domaine du numérique.<sup>17</sup> Le gouvernement a fortement augmenté le nombre de services qu'il propose en ligne, qui est passé à plus de 200, améliorant ainsi l'intérêt de KIXP aux yeux d'autres acteurs, et créant une demande pour l'hébergement et le développement au niveau local. Ces services sont de plus en plus basés dans le cloud et doivent être hébergés localement, ce qui contribue à créer de la demande pour les centres de données locaux.

15. Consulter la Data Protection Bill, 2019, [http://kenyalaw.org/kl/fileadmin/pdfdownloads/Acts/2019/TheDataProtectionAct\\_\\_No24of2019.pdf](http://kenyalaw.org/kl/fileadmin/pdfdownloads/Acts/2019/TheDataProtectionAct__No24of2019.pdf)

16. Voir <https://nitda.gov.ng/wp-content/uploads/2019/01/NigeriaDataProtectionRegulation.pdf>

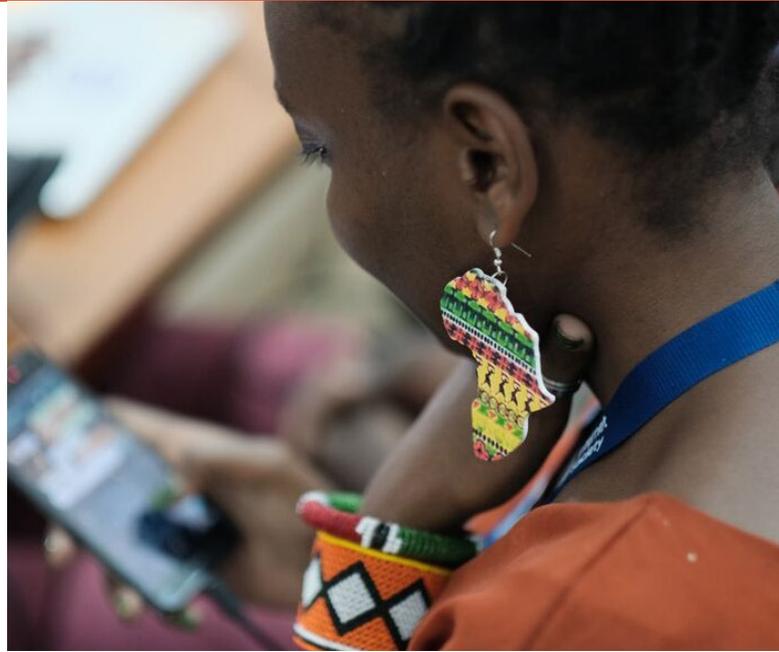
17. Voir <https://www.ict.go.ke/wp-content/uploads/2019/05/Kenya-Digital-Economy-2019.pdf>

Au Kenya, l'obligation pour les chaînes de télévision de passer de l'analogique au numérique a permis une utilisation plus efficace du spectre, ce qui a ouvert la voie à la création de plus de 50 chaînes, et a eu un effet imprévu, mais positif, sur les contenus locaux sur Internet. De nombreuses chaînes créent leurs propres contenus dans les centres numériques locaux, qui sont ensuite diffusés sur Internet ou à la télévision, pour certains par un fournisseur de services de diffusion de contenus (ex. : Viusasa). Même si toutes les contenus vidéo développées ne sont actuellement pas encore hébergées localement (la diffusion de contenus peut s'effectuer depuis YouTube ou un autre fournisseur international) elles sont accessibles localement depuis les plateformes internationales.

Le Nigéria n'a pas encore atteint ce niveau de localisation des données. Le gouvernement du Nigéria ne propose pas autant de services de gouvernement virtuel, et ceux qui sont proposés peuvent être hébergés en dehors du pays. Néanmoins, une obligation de localisation des données contraint les services de gouvernement virtuel à être hébergés localement, ce qui, si elle est respectée, peut ajouter de nouvelles données locales dans l'écosystème. De plus, alors même que le Nigéria s'enorgueillit de son importante activité dans les domaines du cinéma et de la musique, les contenus locaux sont toujours hébergés à l'étranger, notamment les contenus de divertissement nigérianes.

### Expansion des marchés

Les gouvernements peuvent créer des marchés de plus grande ampleur dans le cadre de leur intégration régionale. Ainsi, la Communauté d'Afrique de l'Est et l'East African Communications Organisation mènent des travaux visant à améliorer la connectivité régionale des données et à sensibiliser à ses avantages, notamment au Kenya. Cette coordination régionale a permis d'augmenter le nombre de câbles terrestres transfrontaliers. Même si cette activité ne se déroule pas à proximité du Nigéria, le pays dispose d'un marché domestique de dimensions significativement plus importantes que celui du Kenya.



© Nyani Quarmyne

## Le rôle de l'utilisateur

Dans les deux pays, des utilisateurs ont été moteurs du changement et ont tiré parti de ces changements. Tout d'abord, le développement de l'adoption et de l'utilisation d'Internet entraîne une augmentation de la demande pour les services et contenus en ligne. Les utilisateurs peuvent profiter de smartphones bon marché pour accéder à Internet en haut débit mobile, et utilisent des appareils bon marché pour regarder des vidéos sur Internet à leur domicile. De plus, les services en ligne permettent aux entreprises et aux employeurs d'utiliser les médias sociaux de manière innovante, par exemple en recourant à Instagram et WhatsApp pour le marketing, le renforcement de la communauté et la communication.

De ce fait, les utilisateurs obtiennent un écosystème Internet plus vaste et plus approfondi. Cette meilleure disponibilité des données enrichit l'expérience sur Internet, et l'hébergement local réduit la latence et améliore la résilience des services. De plus, les économies réalisées par les FAI peuvent être transmises aux utilisateurs, sous la forme de tarifs réduits pour les offres data mobiles et/ou des offres plus importants en terme de volume/bande passante. Par exemple, au Kenya, une tarification spéciale pour des services en ligne tels que WhatsApp réduit les coûts sur Internet pour les abonnés, car leur utilisation n'est pas décomptée dans leurs offres data.

## Les failles du marché

**Les écosystèmes du Kenya et du Nigéria ont fortement évolué depuis 2012, et certaines de ces évolutions positives auraient été bien difficiles à prédire il y a huit ans.**

Notamment le fait que tous les grands CDN internationaux soient présents dans ces deux pays. Bien sûr, il reste du chemin à parcourir, notamment l'installation de PoP qui viennent renforcer un cache ou la création d'infrastructures vers d'autres villes du pays, mais l'essentiel est déjà fait. La réalisation de ces dernières étapes sera probablement motivée par la demande, et profitera des moindres frais d'acheminement entre les villes. Ces progrès significatifs bénéficieront aux FAI connectés ainsi qu'à leurs utilisateurs.

Pourtant, deux groupes ne participent pas totalement à l'écosystème local de leur pays : les fournisseurs de contenus locaux et les petits FAI. Une meilleure participation de leur part leur permettrait d'augmenter leur nombre d'utilisateurs et leur volume d'utilisation, et contribuerait assurément à faire passer les deux pays à la Phase 3 du développement, et à atteindre l'objectif de 80/20 fixé par l'Internet Society, une étape décisive dans le développement d'Internet en Afrique.

### Fournisseurs de contenus locaux

Les fournisseurs de contenus locaux continuent de faire héberger leurs données à l'étranger par de grandes entreprises. Ils peuvent par exemple acheter un nom de domaine (ex. : .com) à un registre important, comme GoDaddy, et profiter d'une offre intéressante pour un hébergement sans limitation de volume à des prix défiant toute concurrence locale. Il est aussi possible pour un fournisseur de contenus de travailler avec un développeur local, et que celui-ci rassemble les sites Internet qu'il développe pour les héberger en dehors du pays, où les prix sont moins élevés. D'après une estimation, il est trois fois plus onéreux d'héberger des données localement au Nigéria qu'à l'étranger.

Il faut cependant reconnaître que certains sites Internet, tels que les journaux locaux, ont un important public constitué d'expatriés, qui peuvent obtenir un meilleur service grâce à un hébergement des données à l'étranger, même si cela nuit à la qualité dans leur pays d'origine. Cependant, d'autres acteurs ont commencé à utiliser des services de CDN pour diffuser les données et assurer à la fois la disponibilité locale et la disponibilité pour les expatriés.



© Nyani Quarmyne

Au Nigéria, l'un des principaux FAI pour mobile a une offre de télévision gratuite, mais avec un hébergement au Royaume-Uni et sans même un cache local. Même les diffusions télévisées en direct passeraient par l'étranger avant de revenir dans le pays. Le fournisseur a indiqué qu'en cas d'augmentation de la demande, il envisageait de recourir à l'hébergement local. Cependant, il existe déjà des chaînes de télévision qui diffusent localement des contenus locaux.

Le problème vient du fait que les frais de fonctionnement des centres de données locaux sont généralement plus élevés que ceux des centres en Europe ou en Amérique du Nord. Cela n'est pas



© Nyani Quarmyne

simplement dû à des économies d'échelle, mais aussi au prix de l'électricité et, pour le Nigéria, au coût du fonctionnement en continu de générateurs de secours du fait du manque de fiabilité du réseau électrique. Les fournisseurs d'hébergement local ne profitent pas non plus des économies d'échelles des grands fournisseurs internationaux, et les fournisseurs de contenus locaux peuvent donc recourir à des plateformes internationales gratuites telles que YouTube pour l'hébergement, ce qui réduit le marché potentiel pour les fournisseurs d'hébergement locaux.

Il existe cependant des exceptions. Au Kenya, une entreprise de paris sportifs est hébergée localement et connectée à KIXP grâce à l'assistance et au soutien de l'IXP. Cela est dû à l'importante sensibilité à la latence dans le domaine des paris en ligne. L'hébergement local est donc un impératif commercial, et les bénéfices qu'il engendre peuvent donc contribuer à payer l'hébergement. Au moins une entreprise de paris est désormais hébergée au Nigéria, mais elle se connecte par le biais d'un FAI plutôt que directement par IXP. Selon nos informations, d'autres entreprises de paris étudieraient la possibilité d'un hébergement local.

De plus, des entreprises locales utilisent des services de cloud hébergés à l'étranger. Cela leur permet certes d'économiser les frais liés à la création de leurs propres services, mais elles sont de plus en plus réticentes du fait de la latence qui résulte de l'hébergement à l'étranger. Il existe des services hybrides, qui hébergent les données localement, mais assurent les services depuis l'étranger. Cependant, il est probable que la quantité d'hébergement local

s'accroisse avec le temps, afin d'offrir une moindre latence. En retour, les entreprises locales peuvent également utiliser les IXP pour accéder à des données hébergées par d'autres fournisseurs, et devraient être ciblées, de même que les services gouvernementaux et pédagogiques, dans les activités de communication sur l'intérêt des IXP.

## Les petits FAI

Les petits FAI pourraient tirer d'importants avantages d'une connexion directe à un IXP : en pratiquant le peering autant que possible pour accéder aux contenus et au trafic, ils réduiraient le transit qu'ils doivent acheter pour accéder à Internet dans son ensemble. Malheureusement, les petits FAI n'ont pas toujours les moyens ou les ressources nécessaires pour tirer parti d'un IXP. Pour commencer, ils peuvent ne pas être conscients des avantages de peering et des opportunités que cela représente. C'est pourquoi la plupart des petits FAI continuent d'acheter leur accès en amont à un grand FAI, malgré le fait qu'ils bénéficient déjà indirectement de peering si, comme c'est probablement le cas, le grand FAI en amont utilise l'IXP pour faire le peering.

Au Kenya, de petits FAI ont découvert de manière indirecte la présence de grands fournisseurs de données internationaux, et ont traduit cette présence en une demande pour ce qu'ils appellent des liens de CDN. Ces liens permettent d'accéder aux données des CDN par le biais d'un FAI plus important, ces données pouvant représenter plus de la moitié du trafic demandé. Il s'agit d'une forme de peering payant, ou de transit partiel. Et, même si ce service est utile pour les petits FAI, ceux-ci pourraient le mettre eux-mêmes en place au niveau de l'IXP, avec un peering gratuit.

Même si les petits FAI comprenaient parfaitement les possibilités offertes par le peering à un IXP, certains d'entre eux ne seraient pas en mesure d'en profiter. Les coûts relatifs à l'accès au centre de données et à l'IXP qu'il contient peuvent être inenvisageables, ce qui engendre une dépendance au transit. Cela peut être le cas si le FAI n'est pas dans la capitale du pays, et qu'il doit prendre en charge le lien vers le nœud de l'IXP et les besoins connexes.

# Recommandations

Les parties impliquées dans les autres pays d'Afrique ont la chance incomparable de pouvoir apprendre des expériences du Kenya et du Nigéria, deux pays qui, depuis 2012, ont développé à un rythme formidable des écosystèmes Internet robustes et sains, et en tirent aujourd'hui les bénéfices.

Pourtant, tout peut encore être amélioré. Afin d'atteindre la Phase 3 du développement de l'IXP, les deux pays doivent atteindre un taux de contenus localisés supérieur à 70 %. Voici les recommandations de l'Internet Society pour le Kenya et le Nigéria, ainsi que les bonnes pratiques en matière de développement pour tous les pays qui souhaitent augmenter la localisation de leurs échanges de trafic entre fournisseurs d'accès à Internet et attirer de nouveaux fournisseurs de contenus pour une diffusion plus efficace des données par le biais de leurs IXP.



© Nyani Quarmyne

## 1. S'appuyer sur la relation entre les IXP et les centres de données neutres vis-à-vis de l'opérateur

Les IXP arrivent généralement avant les centres de données, et peuvent en simplifier le développement. Une fois un centre de données créé, celui-ci peut héberger l'IXP ainsi que les PoP du réseau, notamment ceux des FAI, des CDN et des entreprises. Cela permet alors aux réseaux de faire le peering, en public par l'IXP, et en privé par une PNI au sein du centre de données. Tandis que l'IXP développe plusieurs nœuds dans des centres de données d'une même ville ou de plusieurs villes, ces nœuds peuvent prendre suffisamment d'ampleur pour permettre aux réseaux d'un centre de données de faire le peering avec les réseaux des autres centres de données.

## 2. Assurer une bonne gouvernance de l'IXP

Cet aspect est crucial pour une gestion efficace du développement futur du nombre de membres, du trafic et des nœuds de l'IXP. Il faut en priorité veiller à ce que les coûts restent raisonnables, mettre à niveau les équipements lorsque cela est nécessaire, innover et améliorer les services existants, et assurer le fonctionnement ininterrompu de l'IXP. Il est également important d'assurer le développement des infrastructures, afin que les membres, les réseaux intéressés et la communauté technique locale soient conscients des avantages de peering à l'IXP et soient tenus informés des évolutions et des améliorations.

## 3. Créer des économies d'échelle pour réduire les coûts

Les grands fournisseurs de contenus internationaux disposent d'une capacité suffisante pour étendre leurs réseaux sur plusieurs pays, ce qui représente un avantage important pour les FAI et leurs abonnés

dans ces pays. Les IXP jouent un rôle important, en donnant les moyens d'effectuer ces transitions. De même, les plus grands FAI d'un pays peuvent créer ou acheter des infrastructures dans des stations d'arrivée de câbles sous-marins et entre deux villes, afin de recevoir et de distribuer plus efficacement les contenus au sein du pays.

#### 4. Sensibiliser les petits FAI et fournisseurs de données locaux

Les fournisseurs de contenus locaux et les petits FAI sont souvent trop peu informés pour tirer parti des avantages qu'offre un IXP, et ne disposent pas toujours de capacité suffisante pour le faire efficacement. Les petits FAI n'ont ni le trafic suffisant pour obtenir des réductions dues au volume lorsqu'ils utilisent des infrastructures, ni les moyens de développer leurs propres infrastructures. De même, les petits fournisseurs de contenus n'ont pas l'échelle suffisante pour réduire le coût de l'hébergement local. La sensibilisation est un moteur de la demande. Les mesures suivantes, qui visent à améliorer la sensibilisation, ouvrent la voie à l'agrégation de la demande afin d'obtenir des économies d'échelle.

- Présenter aux petits FAI les avantages de peering à l'IXP (réduction des coûts de transit en amont) et présenter aux fournisseurs de contenus locaux les avantages d'un hébergement local (réduction de la latence et augmentation de l'utilisation). Il est particulièrement important d'impliquer les fournisseurs de contenus locaux, leurs développeurs et les centres de données, afin de s'assurer qu'ils comprennent bien les inconvénients d'un hébergement à l'étranger et les avantages d'un hébergement dans le pays d'origine. La création d'infrastructure peut être gérée au niveau de l'IXP, mais aussi lors de réunions du regroupement d'opérateurs de réseaux (NOG), auxquelles peuvent participer les petits FAI.

Au Nigéria, IXPN est un participant actif à NGNOG, le regroupement nigérian des opérateurs de réseaux. Et la Nigeria Internet Registration Association (NIRA), le registre du domaine de haut niveau du pays, .NG, forme les fournisseurs de contenus locaux à l'utilisation de .NG pour les données locales (à la place de .COM), ainsi qu'à l'hébergement local des contenus. De même, les centres de données et les fournisseurs de contenus locaux ont contribué à la sensibilisation à l'IXPN. Les centres de données commerciaux du Nigéria jouent un rôle important dans la localisation du trafic sur Internet. Ainsi, Rack Centre fait la promotion des interconnexions locales en offrant gratuitement l'interconnexion au nœud IXPN hébergé dans son centre.

- Ce travail peut également se concentrer sur les services et applications commerciaux, gouvernementaux, éducationnels et sur d'autres moins traditionnels. Les entreprises locales doivent comprendre les avantages de l'hébergement local des données et des services de cloud, notamment la réduction de la latence, la résilience en cas d'endommagement d'un câble sous-marin, et la réduction du coût pour la prise en charge de services locaux. L'idéal pour développer cette sensibilisation est de créer des infrastructures pour ce secteur d'activité, et de démontrer les avantages pour les clients existants comme pour les nouveaux clients.
- Créer des partenariats entre les IXP et les principaux acteurs, notamment le gouvernement et les réseaux pour la recherche et l'éducation. Ces partenariats peuvent renforcer la sensibilisation, en permettant d'organiser des forums sur le peering et l'interconnexion, ou de réunir les fournisseurs de contenus, en mettant à disposition

18. See footnote 4.



© The Internet Society / Nyani Quarmyne / Panos Pictures

un lieu de rencontre. Les IXP peuvent également encourager les organisations, les services gouvernementaux et les entreprises locaux à adhérer à l'IXP et à tirer parti de sa connectivité.

- Ainsi, au Kenya, KIXP est parvenu en 2009 à faire adhérer la Kenya Revenue Authority, l'administration fiscale nationale, et, plus récemment, a soutenu l'adhésion d'une entreprise locale de pari en ligne. Technology Service Providers of Kenya (TESPOK), l'organisation mère de KIXP, a quant à elle offert son assistance à un CDN local, Angani.
- Mener des tests soutenus par le gouvernement. Par exemple, le gouvernement du Rwanda a mené un test en collaboration avec l'Internet Society afin de démontrer les avantages de l'hébergement local des données.<sup>18</sup> Les résultats de ce test devraient par la suite être largement diffusés à travers le secteur, dans le cadre d'activités de sensibilisation.

## 5. Permettre l'agrégation

Une fois les publics sensibilisés, de nombreuses voies sont possibles pour l'agrégation.

- **Infrastructure dans et entre les villes.** Sur le plan de l'offre, encourager les fournisseurs en gros à construire ou acheter des infrastructures de dimensions adaptées, et à les rendre accessibles aux acteurs de plus petite taille à des tarifs avantageux. Sur le plan de la demande, inciter les petits FAI à mettre en commun leurs demandes, afin qu'ils louent ensemble les infrastructures et profitent de réductions liées au volume, ou à se coordonner avec un tiers pour regrouper les demandes et faire en sorte qu'elles soient satisfaites.

18. Voir la note de pied de page 4.

- **Hébergement de données.** Se concentrer sur les manières de regrouper les petits fournisseurs de contenus locaux et d'obtenir pour eux des services d'hébergement. Par exemple, en s'appuyant sur la sensibilisation accrue, les développeurs de sites Internet pourraient aider leurs clients à se regrouper et à négocier de meilleurs tarifs dans leur pays. Pour les sites Internet à l'étranger, un cache partagé dans un ou plusieurs centres de données locaux connectés à l'IXP pourrait contribuer à réduire les frais de localisation des données.

## 6. Mesures gouvernementales pour élargir le marché

Le gouvernement peut rendre l'écosystème local plus attractif pour les petits FAI et fournisseurs de contenus en réduisant les coûts et en augmentant la demande. Ces mesures aideront également l'écosystème global déjà existant et opérant dans le pays.

- **Frais liés au déploiement de la fibre.** Les droits de passage en ville et entre villes sont souvent onéreux et longs. Le gouvernement peut assurer l'accès à ses propres droits de passage, que ce soit le long des routes ou des autoroutes, des voies ferrées, du réseau électrique ou d'autres réseaux, et demander aux fournisseurs de partager le coût du déploiement de l'infrastructure passive, notamment des gaines pour la fibre, qu'ils pourront tous utiliser. Au Nigéria, ce travail s'effectue en harmonisant les droits de passage afin de réduire les coûts d'accès et les délais administratifs.
- **Centres de données.** L'accès à une énergie fiable et abordable est l'un des principaux facteurs dans le coût. L'une des estimations qui nous ont été fournies considérait que l'hébergement coûtait trois fois plus cher à Lagos qu'en Europe. Les



© Nyani Quarmyne

gouvernements peuvent aider à résoudre ces difficultés. De plus, le fait d'encourager les services gouvernementaux et les grandes entreprises à utiliser un hébergement local contribuera à générer des économies d'échelle pour les centres de données et à améliorer le volume de contenus locaux. Les gouvernements peuvent également mettre en œuvre des politiques sur la protection des données, qui contribueront à instaurer un climat de confiance favorable à l'hébergement local des données et des services.

- **Adoption et utilisation d'Internet.** Les efforts visant à développer l'adoption et l'utilisation d'Internet devraient être renforcés. En plus de ses avantages évidents, le développement de l'adoption et de l'utilisation d'Internet contribuera à la création de la demande et à l'augmentation de l'échelle pour les FAI et les fournisseurs de contenus locaux. L'augmentation de la quantité de contenus locaux contribuera en retour à l'augmentation de la demande. Ces mesures peuvent comprendre une réduction des taxes sur les téléphones et sur les services data, et promouvoir les réseaux communautaires.<sup>19</sup>

19. Pour d'autres actions, voir « A Policy Framework for Enabling Internet Access » (Internet Society, avril 2017), <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/bp-EnablingEnvironment-20170411-en.pdf> Stephen Song, Carlos Rey-Moreno, et Michael Jensen, « Innovations in Spectrum Management » (Internet Society, 3 avril 2019), <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2019/innovations-in-spectrum-management> Kende et Rose, « Promoting Local Content Hosting to Develop the Internet Ecosystem » « Unleashing Community Networks: Innovative Licensing Approaches » (Internet Society, mai 2018), [https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2018/05/Unleashing-Community-Networks\\_Innovative\\_Licensing\\_Approaches-2.pdf](https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2018/05/Unleashing-Community-Networks_Innovative_Licensing_Approaches-2.pdf)

# Conclusions

**Depuis 2012, les progrès au Kenya et au Nigéria ont été très conséquents. Cela vient souligner le rôle clé que peut jouer un IXP dans le développement de l'infrastructure d'Internet, ainsi que le rôle que peuvent jouer tous les acteurs dans le développement de l'écosystème Internet de leur pays.**

Cette étude démontre l'intérêt général au quotidien d'un IXP dans l'écosystème Internet de chacun de ces pays, et l'actuelle crise du COVID-19 met en exergue ces avantages, en rendant possibles des augmentations du trafic qui permettent de s'adapter aux changements entraînés par la distanciation sociale et les confinements.

En 2012, ces deux pays étaient en Phase 1 du développement, avec environ 30 % de leur trafic localisé, et étaient sur le point d'atteindre la Phase 2. Ces pays disposaient déjà tous deux d'une base solide pour le développement, notamment d'un IXP existant qui était bien géré, et dans lequel les parties prenantes locales avaient confiance. Les deux pays avaient également accès à leur premier fournisseur de contenus internationaux, à savoir Google Global Cache. Et enfin, ils disposaient tous deux des infrastructures nécessaires pour se développer en tant que hub, notamment plusieurs câbles sous-marins arrivant dans ces pays.

En 2020, ces deux pays ont atteint la Phase 2 du développement, avec environ 70 % du trafic localisé, et ils sont en passe d'atteindre la Phase 3. Leurs IXP se sont étendus à plusieurs sites et plusieurs villes, avec au moins un nœud dans un centre de données neutre vis-à-vis des opérateurs. Tous les grands fournisseurs de contenus internationaux disposent d'au moins un cache de périphérie dans ces pays, et beaucoup d'entre eux y ont un PoP. Si, dans ces deux cas, les IXP, en permettant l'échange de trafic, ont été au cœur de cette expansion, une part importante du trafic a été échangée en privé dans les centres de données qui accueillent les nœuds des IXP. Enfin, les mesures gouvernementales ont permis de renforcer davantage les écosystèmes.

Le passage à la Phase 3 du développement, où plus de 70 % du trafic est localisé, nécessitera plusieurs nouveaux développements.

- Les développeurs de contenus locaux, notamment parfois le gouvernement lui-même, qui hébergent leurs données en dehors du pays devront les « rapatrier » pour augmenter le trafic local.
- Les petits FAI de ces pays devront se connecter aux IXP pour améliorer l'efficacité de leurs interconnexions.
- Les infrastructures nationales devront être étendues au-delà des principaux points d'arrivée des câbles sous-marins, et toucher les autres centres urbains importants.

Ces développements nécessiteront une bonne sensibilisation aux avantages de l'hébergement local des données et de l'échange de trafic par l'IXP, ce qui peut être effectué grâce à des échanges d'information et des actions de renforcement de capacité ciblés. Ensuite, afin de réduire les frais relatifs à l'accès, l'agrégation de la demande contribuera à réduire les coûts de l'hébergement local des données, et aider à l'accès à l'infrastructure réseau national à moindre coût.

Cet historique des mesures efficaces au Kenya et au Nigéria et cet ensemble de recommandations de mesures pour l'avenir devraient servir de modèle pour les autres pays désirant développer leur écosystème Internet et progresser dans les phases de développement. Dans l'ensemble, à l'heure où les pays localisent de plus en plus les données, l'objectif de 80/20 défini par l'Internet Society et la communauté Africaine de l'Internet peut être atteint.

# Annexe A : KIXP – Point d'échange Internet du Kenya

Les Figures 5 à 8 indiquent à la fois les numéros de système autonome (ASN) accessibles depuis chaque IXP dans le système et les préfixes IP annoncés à l'IXP. Ainsi, ils donnent un aperçu de la répartition géographique des réseaux disponibles à KIXP d'un point de vue local, régional et international. Plus de 62 % de tous les ASN et plus de 68 % de tous les préfixes IP assignés au Kenya sont potentiellement accessibles depuis KIXP. Cela signifie que la plupart des réseaux Internet du Kenya sont accessibles localement depuis KIXP. Au niveau régional, en novembre 2019, 30 % des réseaux africains en dehors du Kenya étaient potentiellement accessibles depuis KIXP. Sur le plan international, plus de 90 % de tous les préfixes et 80 % de tous les ASN potentiellement accessibles depuis l'IXP sont hors d'Afrique, ce qui souligne l'intérêt de se connecter à KIXP pour accéder à une grande partie d'Internet.

Figure 5. Pourcentage d'ASN locaux visibles depuis KIXP (source : ARDA, novembre 2019)

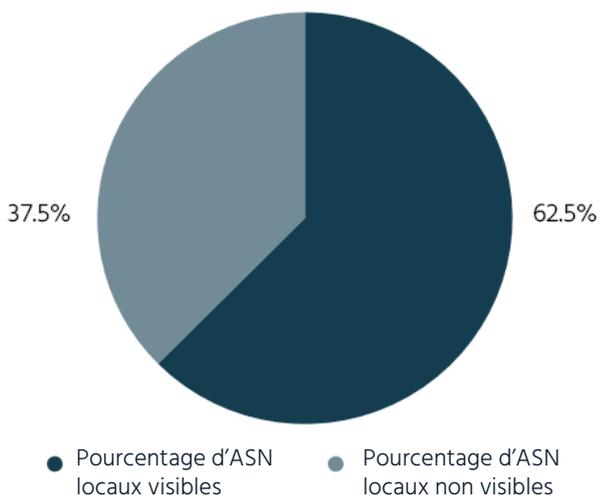


Figure 7. Pourcentage de préfixes locaux visibles depuis KIXP (source : ARDA, novembre 2019)

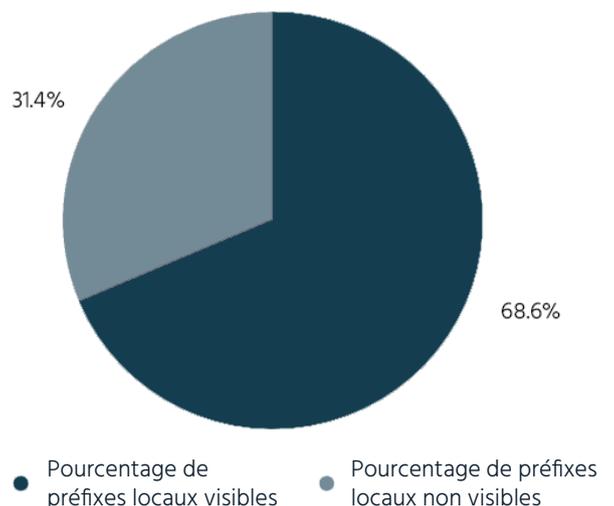


Figure 6. Pourcentage d'ASN visibles depuis KIXP par registre Internet régional (source : ARDA, novembre 2019)

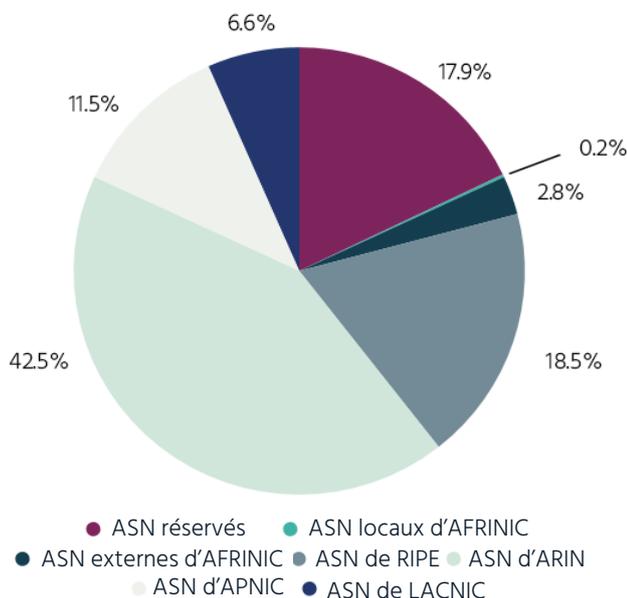
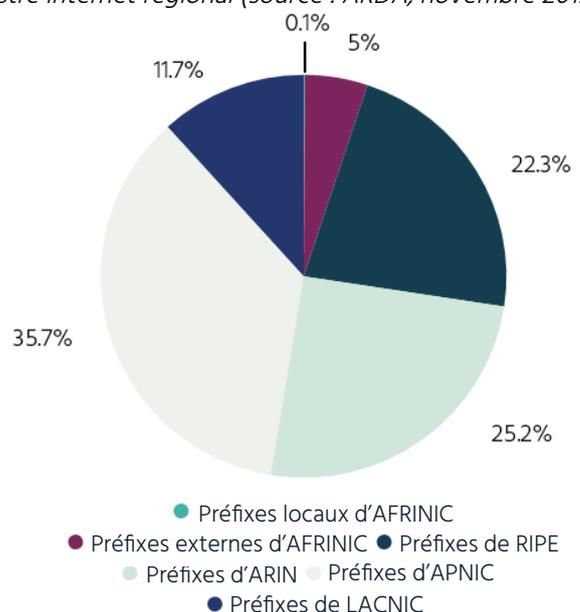


Figure 8. Pourcentage de préfixes visibles depuis KIXP par registre Internet régional (source : ARDA, novembre 2019)



# Annexe B : IXPN – Point d'échange Internet du Nigéria

Les Figures 9 à 12 indiquent à la fois les ASN accessibles depuis IXPN et les préfixes IP annoncés à l'IXP. Ainsi, ils donnent un aperçu de la répartition géographique des réseaux disponibles à IXPN d'un point de vue local, régional et international. Plus de 53 % de tous les ASN et plus de 46 % de tous les préfixes IP assignés au Nigéria sont potentiellement accessibles depuis IXPN. Au niveau régional, en novembre 2019, moins de 1 % du réseau africain en dehors du Nigéria était potentiellement accessible depuis l'IXP, ce qui suggère qu'il pourrait être bon d'approfondir la régionalisation des réseaux. Plus de 80 % des préfixes de réseaux potentiellement accessibles depuis IXPN sont internationaux, mais seuls 25 % de tous les ASN sont internationaux, une situation comparable à celle du Kenya.

Figure 9. Pourcentage d'ASN locaux visibles depuis IXPN (source : ARDA, novembre 2019).

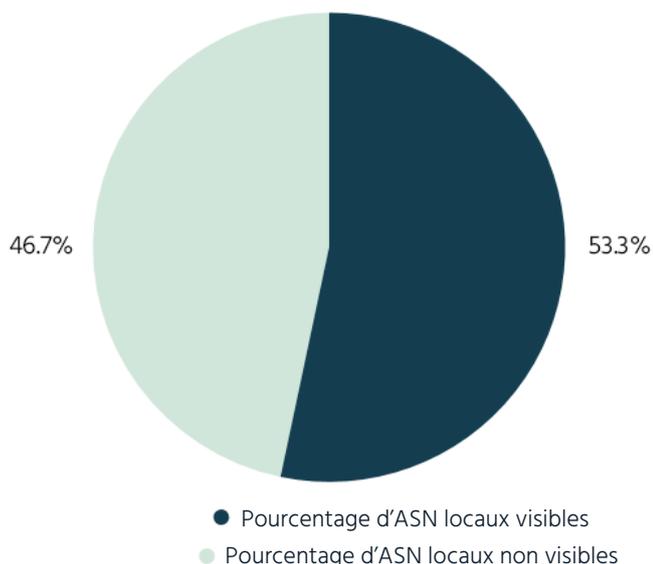


Figure 11. Pourcentage de préfixes locaux visibles depuis IXPN (source : ARDA, novembre 2019)

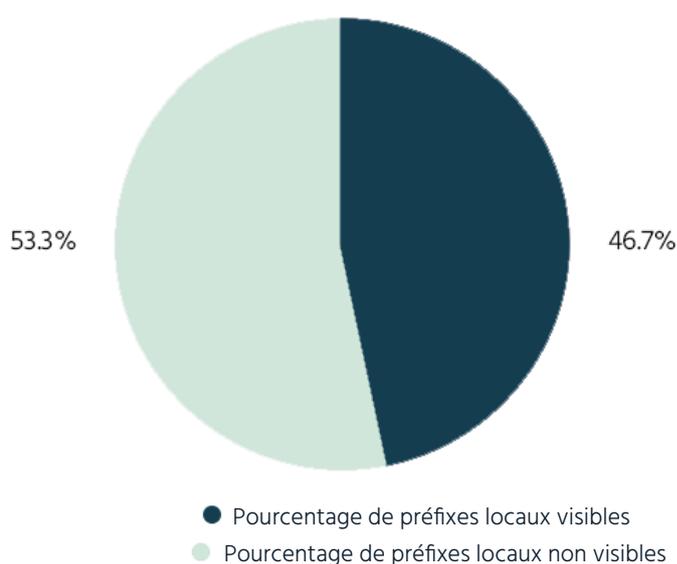


Figure 10. Pourcentage d'ASN visibles depuis IXPN par registre Internet régional (source : ARDA, novembre 2019)

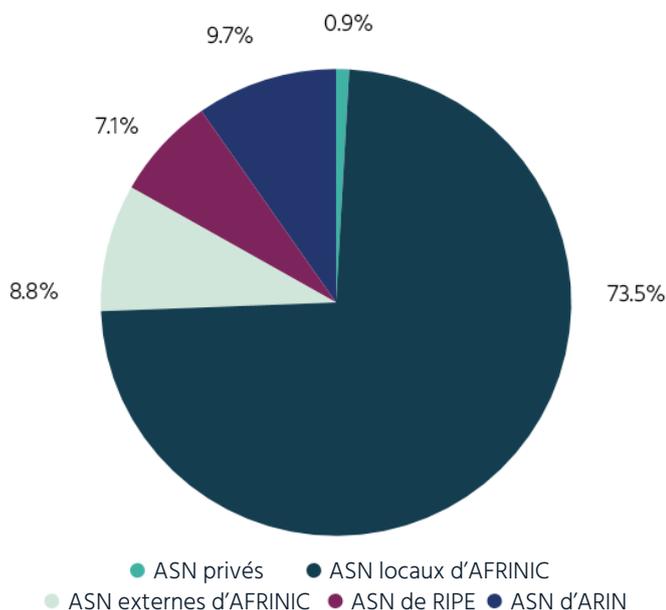
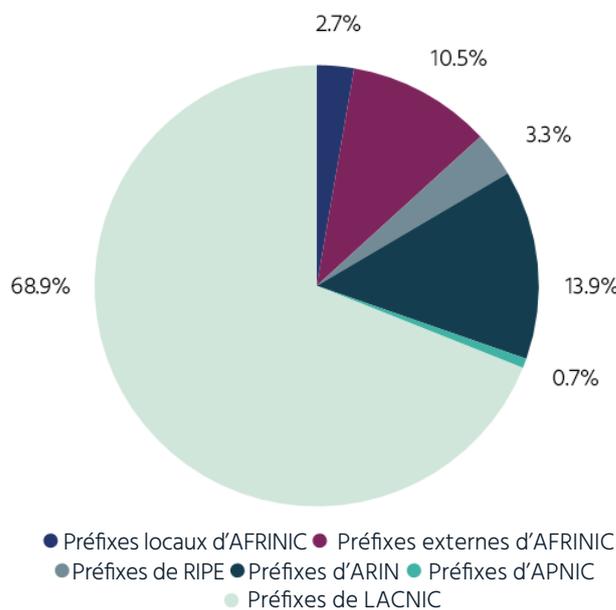


Figure 12. Pourcentage de préfixes visibles depuis IXPN par registre Internet régional (source : ARDA, novembre 2019).



# Annex C : Remerciements

L'Internet Society tient à exprimer sa reconnaissance la plus sincère aux organisations suivantes. Leur aide a été inestimable.

## Kenya

Angani

Communications Authority of Kenya

iColo

Liquid Telecom

Safaricom

SEACOM

SawaSawa

Telkom Kenya

Wananchi

## Nigéria

Airtel

IXPN

Layer3

MainOne

MTN

ntel

Rack Centre

## International

Euro-IX

Facebook

Google

# Annexe D : Glossaire des termes

**ADC** – Africa Data Centres

**Af-IX** – Association Africaine des IXP

**AfPIF** – Forum africain sur l'appairage et l'interconnexion

**AFRINIC** – African Network Information Centre

**ARDA** – African Route-collectors Data Analyzer

**ASN** – Autonomous System Number, numéro de système autonome

**CDN** – Content Delivery Network, Réseau de diffusion des données

**Gbit/s** – Gigabits par seconde

**GGC** – Google Global Cache

**IP** – Internet Protocol

**FAI** – Fournisseur d'accès à Internet

**ITE** – Interconnexion et échange de trafic

**IXP** – Point d'échange Internet

**IXPN** – Point d'échange Internet du Nigéria

**KIXP** – Point d'échange Internet du Kenya

**MMLPA** – Mandatory Multilateral Peering Agreement, Accord d'appairage multilatéral obligatoire

**NDPR** – Nigeria Data Protection Regulation, Réglementation nigériane sur la protection des données

**NIRA** – Nigeria Internet Registration Association, Association pour les enregistrements internet du Nigéria

**NITDA** – National Information Technology Development Agency, Agence du Nigéria pour le développement des technologies de l'information

**NOG** – Network Operator Group, regroupement d'opérateurs de réseaux

**PNI** – Private Network Interconnection, interconnexion de réseaux privés

**PoP** – Point de présence

**TESPOK** – Technology Service Providers of Kenya

**VLAN** – Virtual Local Area Network, réseau local virtuel

**WAF-IX** – West African Internet Exchange, Échange Internet d'Afrique de l'Ouest

# Annexe E: Liste des figures et des tableaux

Figure 1. Les phases du développement de l'écosystème Internet

Figure 2. Les phases du développement de l'écosystème Internet

Figure 3. Pourcentage du trafic échangé localement, janvier 2018 - octobre 2019 (Kenya, Nigéria)

Figure 4. Pic de Trafic sur IXPN en Gbps, janvier 2013 - janvier 2020

Figure 5. Pourcentage des ASN locaux visibles depuis KIXP

Figure 6. Pourcentage des ASN visibles sur KIXP par Registre Internet régional

Figure 7. Pourcentage des préfixes locaux visibles sur KIXP

Figure 8. Pourcentage des préfixes visibles sur KIXP par Registre Internet régional

Figure 9. Pourcentage des ASN locaux visibles depuis IXPN

Figure 10. Pourcentage des ASN visibles sur IXPN par Registre Internet régional

Figure 11. Pourcentage des préfixes locaux visibles sur IXPN

Figure 12. Pourcentage des préfixes visibles sur IXPN par Registre Internet régional

Tableau 1. Résumé de l'étude de 2012 (Kenya, Nigéria)

Tableau 2. L'écosystème Internet au Kenya, 2012-2020

Tableau 3. KIXP – Centres de données, Membres, et Statistiques , 2020

Tableau 4. L'écosystème Internet au Nigéria, 2012-2020

Tableau 5. IXPN – Centres de données, Membres, et Statistiques , 2020

L'auteur remercie Jane Coffin et Michuki Mwangi pour leur direction avisée et leurs conseils, et le Point d'échange Internet du Nigéria pour son aide pour l'organisation de réunions avec leurs membres, ainsi que pour les conseils et commentaires. Toutes les données relatives au Point d'échange du Kenya (KIXP) sont basées sur des informations disponibles dans le domaine public.

Ancrant l'Internet dans l'écosystème africain: leçons du Kenya et du Nigéria de la croissance des points d'échange Internet.

Ancré et établir l'écosystème Africain de l'Internet: Les leçons apprises au cours du développement des points d'échanges Internet du Kenya et du Nigéria.

Juin 2020

Par Michael Kende

©2020 Internet Society